أدوات التعلم

تأليف

إرڤنج أولر

ترجمه:

عبدالرحمن فهمى

تقديم ومراجعة

د. عبد الفتاح الملا

الكتاب: أدوات التعلم

الكاتب: إرفنج أولر

ترجمه: عبدالرحمن فهمى

تقديم ومراجعة : د. عبد الفتاح الملا

الطبعة: 2018

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)

5 ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة



http://www



فهرسة إثناء النشر

أولر ، إرفنج

أدوات التعلم / إرفنج أولر/ ترجمه: عبدالرحمن فهمى

– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

144 ص، 18 سم.

الترقيم الدولى: 9 – 634 – 446– 977– 978

أ – العنوان رقم الإيداع : 26740 / 2018

أدوات التعلم



هذه ترجمة كتاب

The TOOLS OF SCINCS

تأليف

IRVING ADLER

الناشر

THE JOHN DAY COMPANY

NEW YORK, N.Y USA

مقدمة

يحتاج الإنسان إلى مجموعة من الأدوات لتحويل ما ينتج عن فكره من مفاهيم وأفكار حتي تتحول هذه الأشياء إلي قُري ومُدن وحضارات كاملة نتجت عن تفكير الإنسان البسيط الذي كان نتيجة سعيه الدائم للعلم والمعرفة.

والعلم يجب أن يكون تحت السقف الأخلاقي للتطبيق المأخوذ من مهمة الإنسان فى الدنيا ألا وهي العبادة، والعمارة، والبحث، والمعرفة، وهذه المهام أساسية في حياة الدنيا لجعل العلم للتعمير لا للتدمير، وبهذا يكون العلم هو الضمان الوحيد لعمارة الأرض.

كما يجب التخلص من خُرافة العلم والتمسك بالعلم الصحيح الذي يوصلنا للمعرفة الحقيقية؛ فخرافة العلم لا تُفرق بين المجالات المُختلفة للعلم، كما إنها لا تُعطي الدليل المناسب لإثبات القضية العلمية محل النظر، ولا تتبع منهجاً علمياً واضحاً ومُحدداً من قبل فى التعامل مع الحقائق، ولا تعتمد علي مصادر حقيقية للمعرفة العلمية، أما منهج العلم الحقيقي فهو الطريق السليم للبحث والمعرفة؛ واستخدام أدوات العلم الصحيحة في تقصي الحقائق العلمية المُختلفة حتي نصل للحقيقة العلمية التي نبني عليها قانون علمي ثابت نقيس من خلاله الفرق بين عدد من الظواهر العلمية الأخرى؛ أو أن نُثبت حقيقة مرض ما نقي به عدد كبير

من البشر؛ لذا وجب استخدام أدوات سليمة للوصول إلي حلول وقوانين وتفسيرات سليمة.

إننا نجد أن لكل مجال من مجالات الحياة أدواته التي يعمل بها؛ فنجد مثلاً النجار يستخدم المنشار لنشر الأخشاب؛ والشاكوش لطرق المسامير؛ والكماشة لاستخراج المسامير من الأخشاب؛ هذا بجانب العديد من الأدوات الأخرى التي تُساعده في مهنته الهامة في حياة الإنسان؛ ونجد بالمثل الكثير من الأدوات في المهن الأخرى مثل الجزار الذي يستخدم السكين الحاد لذبح الذبيحة؛ والسكين الغليظ لتكسير العظام؛ والخطاطيف لتعليق اللحم؛ وكثير من الأدوات التي تُساعده في مهنته ... وكذلك نجد رجل العلم فله أدواته التي يستعين بها، فالكيميائي يستعمل الكؤوس والمعوجات، والفيزيائي يستخدم السيكلوترون، والفلكي يستعمل التلسكوب، والبيولوجي يستخدم الميكروسكوب، ونطلق عادة على هذه القطع من العدة والآلات اسم «الأجهزة العلمية» وما هي إلا مُجرد أدوات اختصت بها حرفة رجل العلم ... ومن بين الكم الهائل لهذه الأدوات التي يستخدمها العلماء سنقتصر على وصف الهام منها فقط.

ثمة قصة طريفة مألوفة في كُل مكان بالأرض وهي كثيراً ما تظهر في الرسوم الكاريكاتورية والقصص والصور السينمائية، وهي عن صبي صغير أعطيت له ساعة كهدية، ثم تركها والده للطفل لينفرد بها فترة من الزمن، ولما عاد إليه وجد الساعة الجميلة عبارة عن كومة من الخُردة، كما وجد التروس والمسامير والزنبركات مُتناثرة كلها فرق المنضدة

وعلى الأرض، إذ فكك الصبي الساعة إلى أجزاء صغيرة ليكتشف كيف تعمل، وثمة طُرفة أخرى تصور رجلاً بدائياً جاهلاً هشم جهاز الراديو بحثاً عن المُذيع الذي بداخله.

ووجه الدعابة في هاتين الطُرفتين أن الصبي والرجل البدائي لم يكونا في الواقع أبلهين، وإنما حب الاستطلاع هو ما حملهما علي ما فعلاه، ولم يكن سبب وقوعهما في المتاعب إلا افتقارهما للمعرفة.

وبالمثل نجد أن رجل العلم يقوم عادة مثلما فعل الصبي والرجل البدائي؛ فاعرض على عالم أو مُهندس جهازاً جديداً لآلة ثم اتركه ينفرد به بضع دقائق، فمن المحتمل أن تجده بعد عودتك قد فك الجهاز إلى أجزاء، وذلك أن الجهاز في نظر عقله العلمي ليس مُجرد شيء يُثير الإعجاب، وإنما هو شيء يجب تفهمه، فبمجرد النظر إليه سرعان ما يُحاول التعرف على الطريقة التي يُؤدي بها عمله، فيأخذ في فكه إلى أجزاء ليرى ما بداخله، وبذلك يُضيف إلى المعرفة التي يفتقر إليها عقله مفاتيح جديدة ويُحقق ما يكون قد وضع من نظريات داخله ... وهكذا فإن مشاهدة شيء معقد التركيب تستلزم فكه إلى أجزاء وبعبارة أخرى تستلزم تحليله.

إن تفكيك شيء إلى أجزائه بقصد دراسته يكاد يكون أحياناً عملاً عشوائياً يُشبه ما فعله الرجل البدائي بجهاز الراديو، فالخطوة الأولى إذن هي كسر الشيء وفصله إلى أجزاء، وهذا غرض ثالث تُستخدم بعض الأدوات العلمية لتحقيقه، ففي كل فرع من فروع العلم نجد أدوات

للتحطيم والفصل والتحليل، فالجيولوجي مثلا يستخدم المطرقة لتكسير الصخرة ليصل إلي البلورات المختلفة الموجودة فيها؛ والكيميائي يستعمل الهاون لتحويل مادة كيميائية إلى مسحوق قبل أن يُذيبها، والبيولوجي يستخدم السكين لفصل ما يرغب في دراسته من أجزاء النبات أو الحيوان ... والفيزيائي أيضاً له أدواته التي يستخدمها في تفكيك الأشياء التي يدرسها إلى أجزاء، كالمنشور الزجاجي الذي يُستخدم في حيود الضوء، وذلك بفصل الألوان الممزوجة في الضوء العادي وتحويلها لألوان الطيف السبعة، وسنرى أنها تلعب أيضاً دوراً هاماً في تحليل التركيب الخارجي للذرات، وتلك اللبنات البنائية التي تتكون منها جميع المُركبات الكيميائية، ولدراسة التركيب الداخلي للذرات يقوم الفيزيائيون بتفتيتها مُستخدمين في ذلك ضرورياً من محطمات الذرة تُعرف بأسماء لها مثل السيكلوترون والسينكروترون.

وحتى تفكك الأرض إلى أجزاء توجد له أداة، ولكنها لا تُحطم الأرض إلى قطع على النحو الذي يُحطم به السيكلوترون الذرة، وإنما هي أداة تُيسر لنا أن نفحص باطن الأرض ونتعرف على مكوناتها ... وكُل هذا وأكثر ستتعرف عليه داخل كتاب (أدوات العلم) الذي بين يديك ليُضيف لك الكثير من الأدوات التي يستخدمها العُلماء

د. عبد الفتاح الملا

الباب الأول
تدخل في الكون

للعلم أدواته:

لكل حرفة أدواتها، فللنجار مطرقته ومنشاره ومسحاته، وللسباك مفتاح يحل به الصواميل ويربطها، ووابور للحام ومفتاح لقلوظة الأنابيب،

والقصاب يستعمل السكاكين والسواطير، والرسام يستخدم الفرجاروالمسطرة التائية «T»، وكذلك رجل العلم له أدواته التي يستعين بها، فالكيميائي يستعمل الكؤوس والمعوجات، والفيزيائي يستخدم السيكلوترون، والفلكي يستعمل التلسكوب، والبيولوجي يستخدم الميكروسكوب، ونطلق عادة على هذه القطع من العدة والآلات اسم «الأجهزة العلمية» وما هي إلا مجرد أدوات اختصت بها حرفة رجل العلم.

ومن آلاف الأدوات التي يستخدمها العلماء؛ سنقتصر في هذا الكتاب على وصف بضع عشرات منها، بعضها لأهميته والبعض الآخر لأنه شائق، وسنقدم في كل حالة شرحا للطريقة التي تؤدى بها الأداة عملها والغرض الذي تستخدم فيه.

نظرة في الكون:

ويبذل العلماء جهدهم في الحصول على معلومات دقيقة عن الطبيعة

تساعدنا على تفهم الأشياء الكائنة فيها، كيف تتحرك، وكيف تتطور، وكيف يتفاعل بعضها مع بعض، ولكى يطمئن العلماء إلى أن المعلومات التي يحصلون عليها دقيقة يمكن الاعتماد عليها فقد جعلوا شعارهم الذي يتبعونه «شاهد بنفسك» فهم يصلون إلى معرفة الحقيقة عن الأشياء والكائنات التي يدرسونها في الطبيعة عن طريق مشاهدتها، يستخدمون أعينهم في ملاحظتها، وآذانهم في الاستماع إليها، وأيديهم في التعرف على ملمسها، بل إنهم يلجأون أحيانًا، كما في دراسة الكيمياء، إلى تذوقها وشم رائحتها، وهكذا يجمعون المعلومات عن طريق حواسهم باستخدام أعضاء الحس في أجسامهم، ولكن ثمة حدود لما يمكن أن يشاهدوه باستخدام أعضاء الحس وحدها، فالعين الجيدة تستطيع أن ترى دقائق الأشياء، ولكنها لا تستطيع أن ترى أي شيء أصغر من جزء من خمسمائة من البوصة، وهناك أشياء عديدة تصغر عن ذلك بكثير.

نذكر على سبيل المثال بعض أنواع الحيوان التي تبلغ من الصغر درجة بحيث لو وقف تسعة آلاف منها، الواحد إلى جانب الآخر، في صف، فإن طوله لا يبلغ إلا بوصة واحدة، أما إذا وقف واحد منها بمفرده فإننا لا نستطيع رؤيته بالعين المجردة، لأنه صغير جدًا، ولكننا نستطيع أن نراه إذا نظرنا إليه خلال ميكروسكوب، ونستطيع بالعينين وحدهما أن نرى وجه القمر، ولكننا لا نستطيع أن نرى ما يعلوه من فوهات براكين وجبال نظرًا لبعد القمر بعدًا شاسعًا، أما إذا استخدمنا تلسكوبًا فإنه يمكن رؤية هذه الأجزاء التفصيلية، فبالميكروسكوب وبالتلسكوب تمتد قدرة العين وتزداد، فنرى على مسافات أبعد وبصورة وأوضح وأفضل.

وكذلك الحال بالنسبة لحواسنا الأخرى، فإن قدرها لها حدود، ولكننا نستطيع أن نتعدى هذه الحدود باستخدام الأجهزة المناسبة، فبوساطة الميكروفون تستطيع الاستماع إلى الأصوات الخافتة جدًا أو العالية جدًا التي تعجز الأذن عن إدراكها، وبوساطة الغرفة السحابية يمكن إدراك وجود الجسيمات الخفيفة جدًا التي لا تشعر عادة بوجودها، هذه كلها أمثلة تبرز لنا أحد الأغراض التي يهدف إليها استخدام أدوات العلم، فهذه الأدوات، إذ تعمل على زيادة قدرة حواسنا، وتوسع أمامنا المجال لما يمكن أن نشاهده من أشياء.

قياس العالم:

إذا ألقينا حجرًا من ذروة ربوة فإننا نشاهده يسقط، ثم نسمع بعد مرور فترة صوت اصطدام الحجر بالأرض عند سفح الربوة، هذه المشاهدات توحي إلينا بالتساؤل: ما هي السرعة التي سقط بها الحجر؟ هل كانت هذه السرعة واحدة طوال فترة السقوط؟ وإذا كانت السرعة متغيرة فما هو معدل تغيرها؟ ما مقدار الوقت الذي استغرقه الحجر في الوصول إلى أسفل الربوة؟ وهل لو كان الحجر أكبر ثقلًا لكان ذلك يجعل سقوطه أسرع؟ وهل كان سماعنا الصوت في نفس اللحظة التي اصطدم فيها الحجر بالأرض، أم أن الصوت استغرق بعض الوقت في انتقاله إلى أعلى الربوة ووصوله إلى آذاننا؟ وإذا كان الصوت يستغرق زمنًا في انتقاله فما هي السرعة التي يسير بها؟ نحن في الواقع لا نستطيع أن نعلم كثيرًا عن ذلك الذي شاهدناه ما لم نجب عن هذه الأسئلة، ولكى نجيب عن هذه

الأسئلة لابد من القيام ببعض القياسات، علينا أن نقيس أوزانًا ومسافات وفترات زمنية وسرعات وتغيرات في السرعة، فالقياس جزء من المشاهدة العلمية على الدوام.

وقد نحاول الحكم على ثقل حجر بموازنته في راحة اليد، ولكن هذا الأسلوب في القياس أسلوب غير دقيق لا يُعتمد عليه، ولكي نحصل على قياس دقيق للوزن ينبغي أن نستخدم ميزانًا، وقد نحاول قياس ارتفاع الربوة بالحكم عليه بالعين، ولكن هذه الطريقة لا يعتمد عليها أيضًا، ولكي نحصل على قياس دقيق فإننا نستخدم شريط القياس، وهكذا كلما احتجنا إلى قياسات دقيقة فإننا نستخدم جهازًا للقياس، فالموازين وأشرطة القياس أمثلة أخرى تبرز لنا غرضًا آخر من الأغراض التي يهدف إليها استخدام أدوات العلم، إذ هي تمكننا من أن نقيس بدقة كبيرة الأشياء التي نشاهدها.

تفكيك العالم إلى أجزاء:

ثمة أطروفة مألوفة، كثيرًا ما تظهر في الرسوم الكاريكاتورية والقصص والصور السينمائية، وهي عن صبي صغير أعطيت له ساعة كهدية، ثم تركها واهبها للطفل ينفرد بها فترة من الزمن، ولما عاد إليه وجد الساعة الجميلة عبارة عن كومة من الخردة، كما وجد التروس والمسامير والزنبركات متناثرة كلها فرق النضد وعلى الأرض، إذ فك الصبي الساعة إلى أجزائها ليكتشف كيف تعمل، وثمة أطروفة أخرى تصور رجلًا بدائيًا جاهلًا هشم جهاز الراديو بحثًا عن الرجل بداخله.

ووجه الدعابة في هاتين الأطروفتين أن الصبي والرجل البدائي لم يكونا في الواقع أبلهين، وإنما هو حب الاستطلاع الفاره الذي حملهما على ما فعلاه، ولم يكن سبب وقوعهما في المتاعب إلا افتقارهما للمعرفة، وإن ما فعلاه ليشبه إلى حد كبير ما يقوم به عادة رجل العلم، اعرض على عالم أو مهندس جهازًا جديدًا لآلة ثم اتركه ينفرد به بضع دقائق، فمن المحتمل أن تجده بعد عودتك قد فك الجهاز إلى أجزاء، ذلك أن الجهاز في نظر عقله العلمي ليس مجرد شيء يثير الإعجاب، وإنما هو شيء يجب تفهمه، فبمجرد النظر إليه سرعان ما يحاول التعرف على الطريقة التي يؤدي بها عمله، فيأخذ في فكه إلى أجزاء ليرى ما بداخله، وبذلك يضيف إلى المعرفة مفاتيح جديدة ويحقق ما يكون قد وضع من نظريات.
وهكذا فإن مشاهدة شيء معقد التركيب تستلزم فكه إلى أجزاء وبعبارة أخرى تستلزم تحليله.

إن تفكيك شيء إلى أجزائه بقصد دراسته يكاد يكون أحيانًا عملًا غشيمًا يشبه ما فعله الرجل البدائي بجهاز الراديو، فالخطوة الأولى إذن هي كسر الشيء وفصله إلى أجزاء، وهذا غرض ثالث تستخدم بعض الأدوات العلمية لتحقيقه، ففي كل فرع من فروع العلم نجد أدوات للتحطيم والفصل والتحليل، فالجيولوجي مثلا يستخدم المطرقة لتكسير الصخرة وصل البلورات المختلفة الموجودة فيها بعضها من بعض، والكيميائي يستعمل الهاون المدوك لتحويل مادة كيميائية إلى مسحوق قبل أن يذيبها، والبيولوجي يستخدم المدية لفصل ما يرغب في دراسته من أجزاء النبات أو الحيوان.

والفيزيائي أيضًا له أدواته التي يستخدمها في تفكيك الأشياء التي يدرسها إلى أجزاء، ومن بين الأدوات الأكثر أهمية مما سوف نصفه في هذا الكتاب تلك التي تستعمل في فصل الضوء إلى أجزاء، فالمنشرات ومحزوزات الحيود تستخدم لهذا الغرض، وذك بفصلها الألوان الممزوجة في الضوء العادي، وسنرى أنها تلعب أيضًا دورًا في تحليل التركيب الخارجي للذرات، تلك اللبنات البنائية التي تتكون منها جميع المركبات الكيميائية، ولدراسة التركيب الداخلي للذرات يقوم الفيزيائيون بتفتيتها مستخدمين في ذلك ضروريًا من محطمات الذرة تعرف بأسماء لها مثل السيكلوترون والسينكروترون.

وحتى تفكك الأرض إلى أجزاء توجد له أداة، ولكنها لا تحطم الأرض إلى قطع على النحو الذي يحطم به السيكلوترون الذرة، وإنما هي أداة تيسر لنا أن نفحص باطن الأرض ونتعرف على مكوناتها.

وتعرف هذه الأداة التي تستخدم في تحليل باطن الأرض باسم السيمسموجراف، وفي الباب السادس نجد وصفًا للطريقة التي تؤدي بها هذه الأداة عملها والمعرفة التي نفيدها منها.

المشاهدة تدخل:

ليست مشاهدة الطبيعة كمشاهدة عرض في مسرح، فالناظر الذي يشهد تمثيل روايةعلى المسرح يعتبر مشاهدًا سلبيًا لأنه يشهد الحوادث التي تجري على المسرح دون أن يتدخل فيها، ولكن ذلك ليس صحيحًا

بالنسبة لرجل العلم الذي يشاهد الطبيعة ويدرسها، لأنه يشاهدها مشاهدة إيجابية، فيتدخل باستمرار وفي فضول في الشيء الذي يشاهده، فقد يكسره، وقد يفصله إلى أجزاء، وقد يحاول ضم هذه الأجزاء بعضها إلى بعض مرة أخرى، وقد ينخل الشيء أو يخلطه، ويسخنه أو يبرده، ويصهره أو يجمده، فالكيميائي مثلًا يدرس طبيعة المركز الكيميائي بفصله إلى مكوناته أو يجعله يتحد مع مواد كيميائية أخرى، والبيولوجي يتعرف على الكيفية التي تؤثر بها الأغذية في نمو الحيوان من دراسته لما يحدث حينما يغير نوع الغذاء الذي يتناوله الحيوان، وحتى الفلكي الذي يدرس النجوم يُحدث تغييرات فيما يدرسه ولكنه لا يغير النجوم ذاتها، وإنما يحدث تغييرًا في ضوئها، فحين يتلقى ضوء النجم في منظاره يحنيه أو يفصله إلى الألوان التي يتكون منها أو يستخدمه في إحداث تغيرات كيميائية في مستحلب فوتوغرافي، أو في استحداث تيار كهربائي في خلية كهروضوئية، كل هذه أمثلة تبرز لنا غرضًا رابعًا تستخدم فيه أدوات العلم، وهذه الأدوات قد صممت لتحدث تغيرات منتظمة في الطبيعة حتى يتسنى لرجل العلم دراسة ما ينشأ عنها، وسندرس في الأبواب التالية بعض الأدوات التي يستخدمها رجل العلم في مشاهدة الكون وقياسه وتحليله وإحداث تغييرات فيه.

الباب الثاني
القياسات الأساسية على أسلوب قديم

يقوم رجال العلم بأنواع مختلفة من القياسات، أهمها قياسات الكتلة والمسافة والزمن، وإليها تنسب جميع القياسات الأخرى.

الكتلة «عتاد الأشياء»:

يعتبر البغل حيوانًا عنيدًا جدًا، إذ يقاوم كل محاولة لحثه على الحركة، ولكي نتغلب على مقاومة البغل لابد من سحبه بقوة، وتسلك جميع الأشياء المادية سلوك البغل في هذا المقام، فإذا كانت ساكنة فإنها تقاوم كل محاولة لجعلها تتحرك، وإذا كانت في حالة حركة فإنها تقاوم كل محاولة ترمي إلى إسراعها أو إبطائها أو تغيير اتجاهها لتدور.

وهذا العناد الذي يجعل الجسم يقاوم أي تغيير في حركته يسمى كتلته، وكلما كانت كتلة جسم أكبر، صعب دفعه أو جذبه بقصد تغيير حركته.

ومن الحقائق الشائقة عن الكتلة أن لها التأثير المضاد، فبينما تقاوم كتلة جسم أي جذب يؤثر فيها فإنها تولد أيضًا جذبًا خاصًا بها، وعلى سطح الأرض يجنح هذا الجذب إلى جعل الجسم يسقط نحو مركز الأرض، ونسمي هذا الجذب بوزن الجسم، وكلما كبرت كتلة جسم

ازداد وزنه، وهذه الحقيقة تيسر لنا قياس الكتلة بطريقة غير مباشرة، وذلك بقياس الوزن بدلًا منها.

وأقدم أداة لقياس الوزن هي الميزان، وفي الميزان تتدلى كفة من كل طرف من طرفي قب، وهذا القب يرتكز عند منتصفه، ويوزن جسم بوضعه في إحدى الكفتين ثم إيجاد عدد الأثقال العيارية التي توضع في الكفة الأخرى لموازنته، وقد استخدم الصياغ الميزان منذ آلاف السنين أول ما استخدم، وذلك لوزن برادة الذهب، وبدأ التجار في الهند يستخدمونه في وزن ما كانوا يبيعون من حاصلات حوالى عام ٢٥٠٠ ق. م، ومن الهند انتشر الميزان إلى جميع بلاد العالم الأخرى، وقد جرت العادة أن تتخذ الأثقال العيارية شكلًا خاصًا بها في كل بلد، فبينما كانت بعض هذه الأثقال عبارة عن مكعبات بسيطة أو مستطيلات مستوية، كان البعض الآخر يصنع في هيئة حيوان، ففي بابل كانت الأثقال في صورة بطات راقدة، وفي آشور كانت في هيئة سباع رابضة، وفي مصر كان البعض عبارة عن كباش مضطجعة بينما كان البعض الآخر على شكل رءوس البقر.

ولا يزال الميزان القديم في صورته المهذبة أداة مهمة في معامل الفيزياء والكيمياء، بل إن الميزان في صورته الحديثة عبارة عن جهاز حساس يستخدم لقياس الأوان الصغيرة بعناية فائقة، وترتكز قب الميزان الحديث على قطعة من الصلب المجرش في شكل وتد تعرف بشفرة السكين، وترتكز هذه بدورها على ركيزة مصنوعة من حجر صلب،

معناه مقارنته بوحدة للطول على قضيب قياس، وكان أول قضيب قياس استخدمه الإنسان هو ذلك الذي حمله معه على الدوام، ألا وهو ذراعه، وقد سمى الإنسان المسافة من طرف الإصبع الوسطى لليد إلى المرفق بالذراع، وكان يحرك ذراعه على طول الشيء الذي يقيسه ليتعرف على عدد الأذرع التي يشملها، أما المسافات الصغيرة فكان يستخدم في قياسها الشبر، وهو عبارة عن المسافة من طرف الإصبع الصغير إلى طرف الإبهام عند بسط الأصابع بحيث تكون أبعد ما تكون افتراقًا بعضها عن بعض، كما أنه استخدم عرض راحة اليد وسمك إصبع واحد.

وهذه الوحدات كانت مناسبة طالما استخدمها الإنسان في القياس لنفسه بمفرده، إلا أنها أدت إلى الارتباك حينما بدأ الناس يباشرون التجارة، لأن ذراع رجل معين قد تكون أطول من ذراع رجل آخر، ولذلك صار من الضروري تحديد أطوال الوحدات، فاستحدثت في كل دولة قضبان عيارية للقياس تحت إشراف ملكها.

ويبين الرسم في صفحة ١٨ ذراعًا مصريًا ملكيًا استخدم منذ أربعة آلاف سنة تقريبا، وقد سم إلى سبع راحات وثمانية وعشرين إصبعًا.

أما اليوم فإن الوحدة العيارية المستعملة في القياسات العملية هي المتر، وقد اتُخذ وحدة للقياس لأول مرة في فرنسا عام ١٧٩١، وكان العلماء الذين اختاروا هذه الوحدة مثلهم كمثل النجارين في العصور القديمة، إذ اختاروها على أساس طول موجود في الطبيعة، وحددوا مقدارها بما يعادل جزءًا من عشرة ملايين من البعد بين القطب الشمالي

للأرض وخط الاستواء، والمتر العياري الذي تقارن به جميع القضبان المترية وتضبط، عبارة عن المسافة بين خطين على قضيب من البلاتين محفوظ في باريس، وهذه المسافة تتغير باستمرار تغيرًا طفيفًا كلما تأثر قضيب البلاتين بالبرودة أو الدفء، ولذلك كان من الضروري أن نحدد المتر بالمسافة بين الخطين المذكورين عند درجة الحرارة التي يتجمد فيها الماء، وللتعبير عنه بالنسبة للوحدات العادية المستعملة في إنجلترا والولايات المتحدة يكون طول المتر ٣٩,٣٧ بوصة.

مقياس كبير لمسافة صغيرة:

تجرى قياسات كثيرة بمجرد وضع قضيب قياس إلى جانب الطول المراد قياسه، ثم قراءة الطول على التدريج المنقوش على القضيب، وهذه الطريقة ليست على درجة من الجودة بحيث تكفي لقياس المسافات الصغيرة جدًا، وذلك لسببين: أولهما أن ثمة أخطاء قد تقع في وضع القضيب في موضعه، وثانيهما عدم وجود حيز كافٍ على المقياس يتسع للخطوط العديدة اللازمة لتقسيمه إلى مسافات صغيرة، وقد أمكن التغلب على هاتين الصعوبتين في مثل الآلة المعروفة بالميكرومتر، والميزة الرئيسية للميكرومتر هي في استخدام المسمار المحوي الذي يحول القدر الكبير من الدوران إلى قدر يسير من الحركة الأمامية، وبذلك نتمكن من أن نضبط اتساع الفتحة بدقة، ونجعله بالقدر اللازم لطول الجسم المقيس، وفي نفس الوقت يتاح لنا حيز يتسع لتقاسيم أكثر مما تتسع له المسطرة

العادية، إذ يمكننا أن نقسم القدر الكبير من الدوران بدلًا من تقسيم القدر اليسير في الحركة الأمامية.

فإذا كان في كل دورة كاملة للمسمار يتقدم الذراع مسافة طولها ٢٥ جزءًا من الألف في البوصة، فإن جزءًا من خمسة وعشرين من الدورة يمثل مسافة قدرها جزء من الألف من البوصة، ونظرا لقدرة المسمار المحوي على تحويل التحريكات الكبيرة إلى أخرى صغيرة، فإنه يعتبر من أهم أجزاء جميع الآلات الحديثة التي تستلزم الضبط الدقيق، فالميكرومتر يستطيع قياس طول مقداره جزء من ألف من البوصة، ولكنه لا يستطيع قياس مسافة تصغر عن ذلك مائة مرة، بيد أنه سيأتي وصف لأداة تستطيع ذلك في الباب السادس.

الإيقاعات في الطبيعة:

كما أن المسافة تقاس بحساب عدد وحدات الطول؛ كذلك الزمن يقاس بحساب عدد وحدات المدة التي لابد أن تتكرر الواحدة بعد الأخرى، في سلسلة لا تنقطع، ونجد مثل هذا التكرار في الوحدات كلما حدث شيء بإيقاع ثابت، ويمكن استخدام أي إيقاع في الطبيعة كأنه قضيب قياس للزمن، وأول ما استخدم من إيقاعات كانت حركة الأرض والقمر، فالأرض تستغرق يومًا لتدور دورة كاملة حول محورها، والقمر يستغرق شهرًا ليدور حول الأرض والأرض تستغرق سنة لتدور حول الشمس، وهذ الوحدات الثلاثة: اليوم والشهر والسنة تؤلف معًا التقويم.

ولقياس الفترات الزمنية التي تقل عن يوم؛ قام الإنسان بتصميم أنواع كثيرة ومختلفة من الساعات، وأشهر الساعات في العصور الغابرة كانت الساعات المائية والساعات الشمسية، وفي الساعة المائية كانت وحدة الزمن عبارة عن الفترة الزمنية اللازمة لكمية من الماء كي تنساب من وعاء خاص، أما في الساعة الشمسية فكان مرور الزمن يستبان بدلالة حركة الظل الذي يلقيه عمود قائم في ضوء الشمس، وفي كتاب «الزمن في حياتك» «١» تفصيلات أكثر عن كيفية قياس الزمن، وفي الباب التالي وصف لكيفية استخدام إيقاع البندول في بعض الساعات الحديثة.

الباب الثالث
ذوو المهارة في كل الحرف

أدوات ذات منافع كثيرة:

تبدو بعض أدوات العلم الحديث غاية في التعقيد، بيد أنها إذا ما فُحصت تبين أنها تتألف من بضع أدوات بسيطة جُمعت معًا كي تعمل في تعاون على أداء وظيفة معينة، ويوجد بعض هذه الأدوات البسيطة في أنواع عديدة متنوعة من الآلات،

فهي ذات مهارات في كل الحرف، قادرة على القيام بأنواع كثيرة من الأشغال، ومن بين هذه الأدوات ذات المنافع الكثيرة البندول، وسنتكلم عنه فيما يلي، أما غيره من الأدوات الأخرى كالعدسة والمستحلب الفوتوغرافي والمغنطيس الكهربائي وأنبوبة التفريغ فسيأتي وصفها في الأبواب القادمة.

إيقاع البندول:

والبندول عبارة عن كل ثقل يتدلى ويتذبذب حرًا، فالبندول البسيط عبارة عن ثقل مربوط في نهاية خيط، فإذا سُحب الثقل إلى ناحية ثم ترك طليقًا فإنه يتذبذب من ناحية إلى أخرى، وأهم حقيقة عن البندول هي أنه يتذبذب في إيقاع منتظم، وقد دلت كلتا التجربة والنظرية على أن الإيقاع يتوقف على عاملين هما طول البندول وقوة شد الجاذبية الأرضية،

فكلما ازداد طول البندول ازداد الزمن الذي تستغرقه الذبذبة الواحدة، وكلما قويت شدة الجاذبية الأرضية قل الزمن اللازم للذبذبة الواحدة.

الساعة ذات البندول:

لما كان البندول الخطار ذا إيقاع منتظم؛ كان من الممكن استخدامه لقياس الزمن، فالساعة ذات البندول، في بساطة، عبارة عن جهاز لعد ذبذبات البندول، وفيها يلف الزنبرك الرئيسي ثم يترك كي يفك لفاته، وفي أثناء فك لفاته يدير عجلة متصلة عن طريق تروس بعجلات أخرى وبعقارب الساعة، ومن بين هذ العجلات التي يديرها عجلة ذات حافلة مسننة تعرف بعجلة الانفلات، وفوق هذه العجلة ركبت رافعة متصلة بالبندول ولها سن في كل طرف من طرفيها، وعندما يأخذ البندول في التذبذب يدخل كل سن من أسنان الرافعة، الواحد تلو الآخر، بين أسنان عجلة الانفلات موقفًا دورانها في كل مرة، ونتيجة لذلك يكون دوران عجلة الانفلات عبارة عن سلسلة من حركات دورانية قصيرة متوافقة مع إيقاع البندول بدلًا من أن يكون مستمرًا، وهكذا تتابع عقارب الساعة سير الزمن بعدّ هذه الحركات الدورانية القصيرة على الميناء.

إثبات دوران الأرض:

وللبندول، إلى جانب إيقاعه المنتظم، خاصية شائقة أخرى، ذلك أنه يتذبذب من ناحية إلى أخرى في نفس المستوى بغير دوران، وهذه الخاصة تجعله مفيدًا لغرض آخر مختلف تمام الاختلاف، إذ يمكن استخدامه

لإثبات أن الأرض تدور كما تدور نحلة الأطفال، تصور بندولًا ثقيلًا في نهاية خيط طويل يتذبذب وهو ممسوك به بينما يتدلى فوق القطب الشمالي مباشرة، هذا البندول يتذبذب من ناحية إلى أخرى طول الوقت بينما تدور الأرض من تحته كقرص الحاكي «الفوتوغراف»، ولما كانت الأرض تقل الناس الذين هم عليها أثناء دورانها، فإنها تبدو لهم كما لو كانت واقفة في سكون، كما يبدو لهم المستوى الذي يتذبذب فيه البندول كأنه يدور في اتجاه مضاد، ويتغير موضع هذا المستوى في القطب الشمالي فيدور حتى يبلغ دورانه دائرة كاملة في ٢٤ ساعة، وهذا الذي يحدث في القطب الشمالي يحدث في أي موقع آخر على سطح الأرض وإن يكن بمعدل مختلف، وكلما كان الموقع قريبًا من خط الاستواء كان دوران مستوى البندول بطيئًا، أما عند خط الاستواء ذاته فإن هذا المستوى لا يدور على الإطلاق، ويسمى البندول الذي يستعمل على هذه الصورة ببندول فوكلت، نسبة إلى العالم الفرنسي الذي كان أول من أجرى هذه التجربة في باريس.

إن في دوران مستوى البندول دليلا قاطعًا على أن الكرة الأرضية تدور فعلًا حول محورها، وإن الكيفية التي يتغير بها معدل الدوران من موقع لآخر ليست إلا برهانًا واحدًا من براهين كثيرة على أن الأرض مستديرة، وبالإضافة إلى ذلك فإن معدل الدوران في أي مكان معين فيه دلالة على مدى بعد هذا المكان عن خط الاستواء.

بندول الجاذبية:

إن القوة التي تؤثر بها الجاذبية الأرضية في أي جسم قريب من الأرض تعمل على شده نحو مركز الكرة الأرضية، وتتوقف قوة هذا الشد على مدى بعد الجسم من مركز الأرض، وكلما كان الجسم بعيدًا كان الشد ضعيفًا.

وعندما يرتفع منطاد فوق الأرض فإنه يبتعد عن مركز الكرة الأرضية، وكلما ارتفع وعلا ضعفت قوة شد الجاذبية الأرضية لكل شيء في المنطاد.

وفي ضوء هذه الحقيقة يمكن استخدام البندول الموضوع في منطاد كمقياس للارتفاع يقاس به علو المنطاد عن سطح الأرض، إذ كلما ارتفع المنطاد ضعفت قوة شد الجاذبية الأرضية، وكلما ضعفت قوة شد الجاذبية الأرضية صار إيقاع البندول بطيئًا، ولذلك فإن في إيقاع البندول دلالة على ارتفاع البندول عن سطح الأرض.

ويسمى البندول الذي يقصد به قياس قوة شد الجاذبية الأرضية "بندول الجاذبية"، ولجعل البندول حساسًا للتغييرات الطفيفة في الجاذبية الأرضية، فإن البندول يُصنع بحيث يتذبذب دون أدنى احتكاك، ويعلق الثقل الخطار على شفرة سكين من النوع المستخدم في ارتكاز الميزان الحساس، كما أن البندول يحاط بفراغ كي لا يتدخل الهواء المحيط في تذبذبه، وتستخدم ساعة دقيقة جدًا لقياس الزمن الذي تستغرقه كل ذبذبة. ويستطيع بندول الجاذبية أن يكشف عن التغيرات التي تحدث في

قوة شد الجاذبية الأرضية وإن بلغت من الصغر جزءًا من مليون.

انبعاج الأرض:

ولقد استخدم بندول الجاذبية في قياس قوة شد الجاذبية الأرضية في مواقع متفرقة على سطح الأرض، وقد دلت هذه القياسات على أن الجاذبية الأرضية تتغير من مكان لآخر على الأرض، وبعض هذا التغير إنما هو نتيجة للاختلاف في الارتفاع، فقوة الجاذبية الأرضية في ذروة الجبل أضعف منها عند سطح البحر، على أنه من الممكن حساب تأثير الارتفاع عن سطح البحر في هذه القياسات وطرحها منه، وبعد إجراء ذلك نستبين من القياسات الصحيحة مقدار قوة الجاذبية الأرضية عند مستوى سطح البحر في المواقع المتفرقة على سطح الأرض، ولكننا نجد أن هذه القياسات تدل على أن الجاذبية الأرضية أقوى ما تكون عند القطبين وأضعف ما تكون عند خط الاستواء، وتدل قوة الجاذبية الأرضية الأقوى عند القطبين الشمالي والجنوبي على أنهما أقرب إلى مركز الكرة الأرضية من غيرها من الأماكن الأخرى على سطح الأرض.

وبعبارة أخرى، فإن الأرض ليست كروية تمامًا، بل إنها مفرطحة عند القطبين منبعجة عند خط الاستواء، وهكذا فإن بندول الجاذبية بكشفه عن التغيرات التي تحدث في شدة الجاذبية الأرضية الناشئة عن القرب أو البعد من مركز الكرة الأرضية، يمدنا بمفاتيح لمعرفة الشكل الحقيقي للأرض.

الصخور الجاثمة تحت البحر:

وجدنا أن ثمة عاملين يؤثران في إيقاع البندول ذي الطول الثابت، وهما الارتفاع عن مستوى سطح البحر وانبعاج الأرض، وإذا أسقطنا تأثير هذين العاملين من قياسات الجاذبية الأرضية؛ وجدنا أنها لا تزال تتغير من مكان إلى آخر، وثمة وجه خلاف هام هو ذلك الذي بين الجاذبية الأرضية في البر والجاذبية الأرضية في البحر، إذ دلت القياسات التي أجريت بوساطة الغواصات على أن قوة شد الجاذبية الأرضية في البحر أقوى منها في المحطات البرية الواقعة على نفس البعد تمامًا من مركز الكرة الأرضية وعلى نفس البعد تمامًا من خط الاستواء، وقد استدل الجيولوجيون من ذلك على أن هذا الشد الأقوى إنما هو نتيجة الاختلاف بين الصخور القائمة على البر والصخور الجاثمة في البحر، فالصخور الكائنة تحت البحر أثقل من صخور اليابسة، ونظرًا لأن كتلتها أكبر فإنها تبذل شدًا أقوى على الأشياء القريبة منها. وتتكون اليابسة بدرجة كبيرة من صخور كالجرانيت، أما الصخور الكائنة تحت البحر فهي كثيرة الشبه بصخور البازلت الأثقل، واكتشاف هذا الاختلاف مأثرة أخرى حققها بندول الجاذبية.

الجبال الطافيات:

الجبل عبارة عن كتلة هائلة من الصخر بارزة من الأرض، وإذا كان لدينا بندول على مقربة من جبل فإنه يكون متأثرًا بقوتي شد، إحداهما قوة الشد المبذولة من الكتلة الأرضية الواقعة تحت سطح الأرض، والأخرى

قوة شد إضافية صادرة من كتلة الجبل البارزة فوق سطح الأرض، وبالنظر إلى هذه الحقيقة فقد توقع الجيولوجيون أن يبين البندول أن الجاذبية الأرضية قرب الجبل أقوى منها فوق السهل، وقد أثبتت القياسات التي أجريت بوساطة بندول الجاذبية أنها أقوى قرب الجبل، ولكن ليس بالدرجة التي توقعها علماء الجيولوجيا، إذ لما كانت الصخور التي تعلو سطح الأرض تحدث قوة شد إضافية على البندول، فإن ذلك يعنى أن قوة الشد الصادرة من تحت الجبل ليست من القوة كما ظن جيولوجيون، وقد علل ضعف قوة الشد من تحت الجبل بنظرية الجبال الطافيات، فالجبال تتألف من صخور أخف ثقلًا من الصخور المحيطة بها، ونتيجة لذلك فإنها «تطفو» فوق هذه الصخور كما يطفو جبل اللج في الأقيانوس، وأنت لا ترى من جبل الثلج الطافي إلا بعضه، بينما يكون معظمه مغمورًا تحت سطح الماء، وكذلك الشأن في الجبل الطافي، أنت لا ترى إلا بعضه بينما يكون معظمه أو أصله الثابت مختبئًا تحت سطح الأرض، وهذا الأصل الثابت، أو الجذر، كسائر الجبل مؤلف من صخور أقل ثقلًا من الصخور المحيطة، وهذا هو السبب في أن قوة شد الجاذبية الأرضية الصادرة من تحت جبل أضعف من قوة شدها الصادرة من تحت سهل، وهذا الاكتشاف القائل بأن الجبال تطفو كجبال الثلج مأثرة أخرى أمكن تحقيقها باستخدام بندول الجاذبية.

عندما يكون البندول ساكنًا:

والبندول آلة نافعة حتى عندما يكون ساكنًا لا يتذبذب، فحينما يصل

إلى حالة سكون فإنه يشير إلى الاتجاه الذي تؤثر فيه قوة شد الجاذبية الأرضية، وهذا الاتجاه يكون الاتجاه الرأسي نحو مركز الكرة الأرضية، إلا في المواقع التي تكون قريبة جدًا من الجبال الشوامخ، ويسمى البندول الذي يستخدم بهذه الكيفية لبيان الاتجاه الرأسي "المطمار"، ويستعمله المساحون وصانعو الخرائط ليتبينوا مبلغ ميل الأرض عن الوضع الأفقي، كما يستعين به البناءون على إقامة الجدران في غير ميل.

قياس الريح:

حينما ندفع بندولًا فإن الارتفاع الذي يعلو إليه قبل أن يرتد يتوقف على شدة الدفع، وإذا كان البندول قرصًا مستويًا متدليًا في الهواء فإنه سيكون عرضة لدفع الريح، وتتوقف شدة الدفع على سرعة الريح، فكلما كانت الريح أسرع كان دفعها أشد قوة، وكانت ذبذبة البندول أكثر علوًا، وهذه الحقيقة تجعل من المستطاع استخدام البندول في قياس سرعة الريح، ويسمى البندول ذو القرص المستوى الذي يستخدم بهذه الكيفية بمقياس سرعة الريح «أنيمومتر»، وإذا صنع البندول في هيئة كتلة غليظة بدلا من قرص مستوٍ لأمكن إذن استخدامه لقياس سرعة قذيفة، فإذا انطلقت رصاصة على هذه الكتلة فإنها ستدفعها فيتذبذب البندول، وكلما كانت سرعة سير الرصاصة كبيرة ازداد الارتفاع الذي تدفع البندول إليه، وعلى ذلك فإن ارتفاع الذبذبة فيه دلالة على سرعة الرصاصة، ويسمى البندول الذي يستخدم بهذه الكيفية «بندول القذائف».

لقد رأينا كيف يساعدنا البندول على قياس الزمن، كما يساعدنا على قياس قوة الجاذبية الأرضية، ورأينا كيف يمكن استخدامه في قياس الارتفاع وفي قياس كثافة الكتل الضخمة من الصخر، كما أمدنا ببرهان على أن الكرة الأرضية تدور حول محورها، وبيّن لنا أن للجبال أصولًا ثابتة، جذورًا، وأنها تطفو كما تطفو جبال الثلج، كما أنه يساعدنا على قياس قوة الريح وسرعة قذيفة، فالبندول بحق ذو مهارة في كل حرفة.

الباب الرابع
أحوال المادة الأربعة

العناصر الأربعة:

تصنع كتل لعب الطفل في هيئة أشكال بسيطة محدودة العدد، بعضها مستقيم كقوالب القرميد، والبعض الآخر أسطواني الشكل كجذع الشجرة،

وقليل منها منحني الشكل أشبه بجزء من إطار عجلة، ولكن الطفل يستطيع أن يبني من هذه الأشكال البسيطة المحدودة العدد تركيبات معقدة ذات أشكال متفاوتة التنوع، فهو إذ ينسق نفس العناصر المحدودة العدد بطريقة مختلفة متفاوتة التنوع، فهو إذ ينسق نفس العناصر المحدودة العدد بطرق مختلفة يستطيع أن يصنع قصرًا أو قاطرة أو جسرًا.

ولقد خطر في أذهان فلاسفة اليونان القديمة وعلمائها منذ آلاف السنين أن الطبيعة تعمل بنفس الطريقة، فكانوا يظنون أن الأشياء العديدة التي نصادفها في الطبيعة، وإن تكن معقدة، إلا أنها تتكون من بضعة عناصر مؤتلف بعضها من بعض في توافقات مختلفة، ووضعوا النظرية القائلة بأن العناصر التي تتكون منها جميع الأشياء المادية هي التراب والهواء والماء والنار، ونحن نعلم اليوم أن هذه النظرية خاطئة في تفاصيلها، وأن أحدًا من هذه الأشياء الأربعة ليست عنصرًا، بل إن كل واحد منها عبارة عن مجموعة معقدة التكوين من أشياء أخرى أبسط، بيد أنه، وإن

كانت تفاصيل هذه النظرية خاطئة، إلا أنه تبين أنها تضمنت فيما اشتملت عليه من أفكار رأيين أساسيين ثبتت صحتهما: أولهما أن العالم يتركب من حفنة من أنواع من الجسيمات البسيطة كما سنرى في الباب التالي، والرأي الثاني هو أن التراب والماء والهواء، وإن لم تكن عناصر، إلا أنها تناظر الأحوال الثلاثة للمادة، وهي الحالة الجامدة والحالة السائلة والحالة الغازية، وللنار أيضًا مكانتها في النظرية الحديثة باعتبارها مصدرًا من مصادر الحرارة، وهي إحدى صور الطاقة، ومنذ مئات السنين والعلماء يميطون اللثام عن العلاقة التي تربط بين هذه الوجوه الأربعة للطبيعة بعضها مع بعض.

تغيرات الحالة:

من المستطاع تغيير المادة من حالة إلى أخرى، ولقد أثبتت الخبرة، سواء في المطبخ أو في المصنع، صدق هذه الحقيقة، فالزبدة يمكن صهرها وجعلها سمنًا سائلًا، والرصاص الجامد يمكن صهره فيصير سائلًا ينساب كالزئبق، والماء السائل يمكن تجميده إلى ثلج صلب، كما يمكن غليه حتى يصير غازًا يعرف بالبخار، وكان الطاهي وصانع المعادن والزجّاج يجمعون المعلومات عن هذه التغيرات أثناء عملهم.

وتعتبر الحرارة بمثابة العامل الرئيسي في إحداث هذه التغيرات، فإذا اكتسب الثلج حرارة فإنه يسخن في بادئ الأمر حتى يصل إلى مستوى آخر من الحرارة أكثر ارتفاعًا، وعند هذا المستوى تأخذ فقاقيع

البخار في الخروج من الماء، وإذا احتُبس هذا البخار في وعاء أمكن تزويده بحرارة أكثر مما يجعله يسخن أكثر فأكثر.

وقد وجهت في الماضي فئة من الناس، وهم الكيميائيون القدامى «السيمائيون»، عناية خاصة إلى التغيرات في أحوال المادة، وكانوا يعتقدون أن جميع المعادن تتألف من نفس العناصر وأنها إنما يختلف بعضها عن بعض في النسب التي تمتزج بها هذه العناصر، كما كانوا يعتقدون أنه في إمكانهم بمجرد تغيير هذه النسب الحصول على الذهب بتحويل المعادن الأخرى إليه، وذلك بأن يزيدوا من مقدار عنصر ما وينقصوا من مقادر عنصر آخر، ولذلك فقد شغلوا أنفسهم كثيرًا بعديد من المواد الكيميائية المتنوعة، يخلطون بعضها مع بعض، ويفصلون البعض الآخر من بعض، ولكنهم لم يفلحوا أبدًا في عمل الذهب، بيد أن جهودهم لم تذهب كلها هباء، فقد قاموا باكتشافات كثيرة، واخترعوا أدوات عديدة، كانت هي الأساس الذي قام عليه صرح الكيمياء الحديثة، ومن بين هذه الأدوات التي ابتدعوها المرشح والأنبيق، أو جهاز التقطير، والحمام المائي.

والمرشح عبارة عن أداة لفصل الجسيمات الصلبة من سائل، وذلك بالاستفادة من حقيقة كون الجسيمات الصلبة كتلًا كبيرة إذا ما قورنت بالجسيمات الأصغر التي يتألف منها السائل، وقد يكون المرشح قطعة من ورق أو من نسيج قماش أو شبكة معدنية، فحين تتقاطع خيوط الورق أو القماش أو المعدن بعضها مع بعض تتكون سلسلة من الثقوب.

وعندما يسكب مزيج المادة الصلبة مع السائل في المرشح، فإن جسيمات السائل تمر خلال الثقوب بينما تتوقف جسيمات المادة الصلبة على المرشح إن كانت من الكبر بدرجة كافية، وهكذا، بينما ينساب السائل خلال المرشح، فإن جسيمات الجسم الصلب تتراكم عليه بعضها فوق بعض.

أما الأنبيق أو جهاز التقطير فهو عبارة عن أداة لفصل السوائل التي يذوب بعضها في بعض، وذلك بالاستفادة من حقيقة كون السوائل المختلفة تحتاج إلى مستويات مختلفة من الحرارة كي تغلي، وكان الأنبيق في أبسط صوره عبارة عن مجرد دورق ذي عنق طويل، وكان مزيج السوائل يوضع في الأنبيق ثم يحمى فوق موقد، وحينما تصل الحرارة إلى المستوى اللازم يأخذ أحد السوائل التي يتكون منها المزيج في الغليان ثم يتحول إلى بخار يصعد في عنق الأنبيق الطويل، أما سائر السوائل الأخرى في المزيج فإنها لا تغلي، وإنما تظل في حالة سائلة على حالها.

ويفقد البخار المتسرب بعض حرارته أثناء مروره بالعنق الطويل، وعندما يبرد يتكثف في هيئة قطرات من السائل مرة أخرى، وتتساقط هذه القطرات إلى وعاء آخر موضوع عند نهاية العنق لاستقبالها، وبهذه الطريقة أمكن فصل السوائل التي تغلي عند مستويات مختلفة من الحرارة. وفي المكثف الحديث يحاط العنق الطويل بغلاف للماء، وينساب الماء البارد خلال هذا الغلاف ليساعد على تكثف البخار بصورة أسرع.

أما الحمام المائي فهو عبارة عن جهاز لتوصيل الحرارة ببطء وفي مستوى معتدل من الحرارة، ويتحقق ذلك بوضع الوعاء المراد تسخينه فوق ماء مسخن بدلًا من وضعه فوق الموقد مباشرة.

وفي الوقت الحاضر نستخدمه كأداة من أدوات المطبخ تعرف باسم الغلاية المزدوجة، ويقال إن الحمام المائي قد اختُرع حوالى عام ٢٥٠ بعد الميلاد، اخترعته كيميائية يهودية من الكيميائيين القدامى، تعرف باسم ماري اليهودية، وفي الواقع فإن الغلابة المزدوجة لا تزال تعرف في فرنسا باسم «حمام ماري».

توليد الحرارة:

إن الحرارة التي تستعمل في المطبخ أو في المعمل لابد من توليدها أولًا، ولقد كان توليد الحرارة أحد الأعمال التي نيطت بأداة من أقدم أدوات الإنسان وهي النار، ومن المحتمل أن الناس استخدموا في بادئ الأمر النيران التي وجدوها في الطبيعة كتلك النيران التي تبدأها صدمات البرق أو القذف البركانية، ثم عرف الناس كيف يولدون النار من احتكاك عصوين جافتين الواحدة بالأخرى، أو من اقتداح شرارة من حجر، ثم تطور ذلك إلى ابتكار أدوات إضافية يتحكمون بها في النار، وابتداع مواقد وأفران تحتويها، ومنافخ تمدها بالهواء، ونحن اليوم، إلى جانب ما لدينا من أنواع عديدة من الأفران متخصصة كل في غرض، فإن لدينا أجهزة للحصول على الحرارة بدون استخدام النار، وسيرد وصف بعض

هذه الأجهزة، كالفرن الكهربائي والفرن الشمسي، في الأبواب القادمة.

قياس الحرارة:

تسلك الحرارة من بعض الوجوه سلوك السائل، ويمكن أن نتصور أي جسم مادي كوعاء يمكن أن تسكب الحرارة فيه، فعندما يُختزن الماء في آنية فإن ثمة كميتين مختلفتين مرتبطين بالماء يمكن قياسهما، إحداهما كمية الماء في الآنية والأخرى ارتفاع المستوى الذي وصل إليه الماء في الآنية، وعلى نفس النمط توجد كميتان مختلفتان مرتبطتان بالحرارة يمكن قياسهما، إحداهما كمية الحرارة في الجسم والأخرى مستوى الحرارة في الجسم أو درجة حرارته، وهاتان الكميتان مرتبطان الواحدة بالأخرى، ولكنهما متميزتان في الحالتين، فعند سكب الماء في آنية كلما كثرت كمية الماء ارتفع المستوى الذي يصل إليه، وبالمثل كلما ازدادت كمية الحرارة التي يكتسبها الجسم ارتفعت درجة حرارته، غير أن المستوى الذي يمكن بلوغه يتوقف على سعة الجسم أيضًا، فإذا صببنا الماء في كلتا آنيتين إحداهما واسعة والأخرى ضيقة، فإننا نحتاج في حالة الآنية الواسعة إلى كمية من الماء أكبر مما يلزم في حالة الآنية الضيقة لكى نملأهما إلى مستوى واحد، وبالمثل قد تلزم جسمًا ما كمية من الحرارة أكبر مما يلزم لجسم آخر لرفع درجتي حرارتهما بنفس القدر.

ولما كانت كمية الحرارة ودرجة الحرارة أو مستوى الحرارة شيئين مختلفين، فإنهما يقاسان بطرق مختلفة وباستخدام أدوات مختلفة، وتسمى

الآلة المعتادة لقياس درجة الحرارة «الترمومتر»، وقد وصل الترمومتر الحديث حد الإتقان حوالى عام ١٦٦٦ بعد تطوير أداة قديمة اخترعها جاليليو، وتبنى فكرته على الاستفادة من كون معظم الأجسام تتمدد كلما سخنت، وفي الترمومتر توضع كمية صغيرة من الزئبق في أنبوبة وتلحم بعد إزالة الهواء منها، فعندما يسخن الزئبق يتمدد ويرتفع في الأنبوبة.

ويدل الارتفاع الذي يصعد إليه الزئبق على مستوى حرارة الزئبق، وفي البلاد الناطقة باللغة الإنجليزية يستعمل مقياسان مختلفان في الترمومترات، فعلى المقياس المئوي نجد أن درجة الصفر هي درجة الحرارة التي يتجمد عندها الماء ودرجة المائة هي الدرجة التي يغلى عندها الماء، أما على مقياس فهرنهايت فإن هاتين النقطتين يشار إليهما بدرجتى ٣٢، ٢١٢ على التناظر، وعلى ذلك فإن الفرق الذي مقداره ١٠٠ درجة مئوية يعادل فرقًا مقداره ١٨٠ درجة فهرنتية.

أما الأداة التي تستعمل لقياس كمية الحرارة فتسمى «المسعر»، وهي تقيس الحرارة بوحدات يسمى كل منها «السعر»، والسعر عبارة عن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة «والجرام هو وحدة صغيرة للكتل تستخدم في القياسات العلمية، ويساوى الباوند نحو ٤٥٣ جرامًا»، وثمة نوع بسيط من المسعرات لقياس الحرارة، وتستخدم الحرارة فيه لصهر الثلج، ومن المعلوم أن ٨٠ سعرًا من الحرارة تصهر جرامًا واحدًا من الثلج، وعلى

ذلك فإن كمية الثلج الذي ينصهر تستخدم كمقياس لكمية الحرارة.
نار الحياة:

لقد لعب المسعر دورًا مهمًا في دراسة كيمياء الكائنات الحية، ففي عام ١٧٨٠ استخدم العالمان الفرنسيان لافوازييه ولابلاس المسعر الثلجي لإثبات أن حرارة جسم الحيوان تتولد نتيجة لعملية يحترق فيها الكربون، كما تفعل النار، وذلك بأن وضعا أرنبًا هنديًا في وعاء مقفل محاط بالثلج، وقد سمحا للأرنب أن يستنشق أكسجينًا نقيًا لفترة محدودة من الزمن، ثم قاسا كمية ثاني أكسيد الكربون التي خرجت في زفيره، كما قدرا كمية الثلج التي أذابتها جرارة جسمه في نفس الفترة، وبعد ذلك أحرقا بعض الفحم النباتي بالمسعر، وقاسا كمية ثاني أكسيد الكربون المتكونة، كما قاسا كمية الحرارة المتولدة من النار، وبمقارنة النتائج في الحالتين وجدا أنه عندما تتولد عن احتراق الفحم كمية من ثاني أكسيد الكربون تساوي نفس الكمية التي تنتج من الأرنب، فإن نفس كمية الحرارة تتولد أيضًا، وقد أظهرت هذه التجربة أن عملية الحياة في الأرنب الهندي تشبه النار، وأن التنفس يغذي بالهواء نار الحياة كما تغذي لفحة الهواء النار التي في الموقد.

الحالة الرابعة للمادة:

يتألف أي غاز من جسيمات دقيقة تتحرك في حيز، فإذا أزيل معظم الجزيئات من الوعاء الذي يحتوي الغاز فإن ما تبقى بعد ذلك يسمى

فراغًا أو هو حيز فارغ تقريبًا، وإنه وإن كان يمكن النظر إلى الفراغ على أنه مجرد غاز مخلخل جدًا، فإن أشياءً جديدة، متنوعة وكثيرة، تحدث في الفراغ، حتى أنه غالبًا ما يشار إليه باعتباره حالة رابعة من أحوال المادة قائمة بذاتها. وقبل القرن السابع عشر كان العلماء يعتقدون أنه لا يمكن وجود فراغ، إذ كانوا يحسبون أنه كلما أزيحت مادة من الحيز الذي تشغله فإن هذا الحيز لا يمكن أن يظل فارغًا، لأن الطبيعة تدفع إليه فورًا وتلقائيًا مادة أخرى تحل محلها، وقد ثبت خطأ هذه النظرية عندما ظهر اختراعان أمكن بوساطتهما إحداث فراغ حقيقي، وهذان الاختراعان هما مضخة الهواء والبارومتر الزئبقي.

وقد اخترع أتوفون جريك، عمدة بلدة مجدبرج في ألمانيا، مضخة الهواء عام ١٦٥٤، وتتركب من مكبس داخل أسطوانة مزودة بصمامين، ويبين الشكل الموضح فيما بعد الطريقة التي كانت تستخدم بها لإزالة الهواء من وعاء مقفل.

وكانت الأنبوبة الموجودة بقاع الأسطوانة توصل بفتحة الوعاء، فإذا ما رُفع المكبس أحدث فراغًا داخل الأسطوانة فيدفع هواء الوعاء الصمام السفلي وينساب إلى الفراغ ليملأه، وعندما يدفع المكبس إلى أسفل فإن الهواء الموجود بالأسطوانة يضغط على الصمام السفلي ويقفله فلا يتسنى للهواء أن ينساب راجعًا إلى الوعاء، وفي الوقت نفسه يدفع الهواء الصمام العلوي فيفتحه وينساب خارج الأسطوانة إلى الهواء الجوي المحيط، وعندما يرفع المكبس للمرة التالية فإن الصمام العلوى يقفل

وتتكرر العملية، وهكذا ففي كل مشوار صعود للمكبس يزاح هواء من الوعاء ويدخل الأسطوانة، وفي كل مشوار نزول للمكبس يزاح الهواء من الأسطوانة ويتسرب خارجها، وبتكرار عملية الضخ على هذا النحو يمكن إزالة معظم الهواء من الوعاء.

أما البارومتر الزئبقي، فقد اخترعه إيفانجيلستا تورشيلي، أحد تلامذة جاليليو، في عام ١٦٤٣، أخذ توريشيلي أنبوبة طويلة من الزجاج وسد أحد طرفيها ثم ملأها بالزئبق ونكسها بحيث كان الطرف الملحوم إلى أعلى والطرف المفتوح مغموسًا في حوض به زئبق، وقد سقط الزئبق الموجود في الأنبوبة تحت تأثير ثقله، ولكن الزئبق لم يخرج كله من الأنبوبة، وإنما بقي منه عمود قائم في الأنبوبة يبلغ طوله نحو٢٩ بوصة، أما الحيز الذي يعلو هذا العمود فقد كان عبارة عن فراغ.

ضغط الهواء:

أثار اختراع مضخة الهواد والبارومتر الزئبقي أسئلة جديدة للعلماء تتطلب منهم جوابًا، كما أمدهم بوسائل تمكنهم من وضع حلولها، وكان أحد هذه الأسئلة التي تستلزم الإجابة هو: لماذا كان طول عمود الزئبق الذي ظل قائمًا في الأنبوبة تسعًا وعشرين بوصة تمامًا؟ وقد أبدى فيفاني زميل توريشلي الرأي بأن الذي جعل عمود الزئبق يبقى قائمًا هو ثقل الهواء الجوي الذي يضغط إلى أسفل على سطح الزئبق في الحوض، فهذا السطح يسلك كما لو كان نواسة أطفال، يجلس على أحد طرفيها عمود

الزئبق في الأنبوبة، ويجلس على طرفها الآخر عمود هواء ممتد إلى ذروة الهواء الجوي، ولو صحت نظرية فيفاني فإن ارتفاع عمود الزئبق في الأنبوبة يجب أن ينخفض عندما تؤخذ الأنبوبة فوق جبل، لأنه كلما ازددنا صعودًا على الجبل قل الهواء الذي يضغط إلى أسفل على الزئبق في الحوض.

ويرجع الفضل في تحقيق صحة هذه النبوءة إلى بسكال الذي صعد بأنبوبة توريشلي إلى جبل في جنوب فرنسا، وقد أظهر صعود بسكال إلى أعلى الجبل أن البارومتر الزئبقي، بقياسه ثقل الهواء الجوي في المكان، يبين أيضًا ارتفاع مستوى سطح البحر بطريقة غير مباشرة ولذلك يمكن استخدامه مقياسًا للارتفاع.

ولقد بينت لنا أنبوبة توريشلي أن الهواء الذي فوقنا يضغط إلى أسفل بقوة كبيرة، إذ يبذل ضغطًا مقداره خمسة عشر باوندًا على كل بوصة مربعة من السطح الذي يلامسه، وقد ثبت وجود هذا الضغط بطريقة أخرى، وذلك بوساطة تجربة هوائية صممها فون جيريك، فقد صنع نصفي كرة من المعدن ووضع حافتيهما الواحدة فوق الأخرى ليكونا كرة، ثم فرغ الهواء من الحيز الموجود داخل الكرة باستخدام مضخة الهواء، وبذلك زال ضغط الهواء من الداخل ولم يعد متوازنًا مع الضغط الخارجي، وصارت القوة التي تضغط نصفي الكرة الواحد إلى الآخر بدرجة من العظم حتى أن فصلهما عن بعضهما لم يقو عليه ستة عشر حصانًا، غير أنه عندما سمح للهواء بأن ينساب مرة أخرى داخل

الكرة عن طريق صنبور سرعان ما انفصل نصفا الكرة بأيسر محاولة وافترقا الواحد عن الآخر.

زنبرك الهواء:

إن عمود الهواء الذي يعلو سطح الأرض يضغط إلى أسفل على كل شيء يلامسه، ومن بين الأشياء التي يضغط عليها طبقة الهواء المجاورة لسطح الأرض، وقد درس العالم الإنجليزي روبرت بويل ما يحدث في هذه الطبقة الهوائية، فوجد أن الهواء ينضغط كالزنبرك، وأن الهواء المضغوط، كالزنبرك الذي ينضغط، يرد دفعه، ولكي يدرس بويل «زنبرك الهواء» هذا، احتبس بعض الهواء في وعاء ثم سمح له بالانتشار إلى حيز أكبر، فوجد أن ضغط هذا الهواء يتناقص كلما ازداد حجمه.

وفي هذه التجربة وفي التجارب التي تبعتها والتي أماطت اللثام عن العلاقة بين ضغط وعاء وحجمه، ودرجة حرارته، استُخدمت مضخة الهواء في ضخ الهواء من الوعاء وإليه، كما استُخدم البارومتر الزئبقي في قياس الضغط، ولولا هاتان الأداتان لما تمكن العلماء أبدًا من اكتشاف الأشياء التي يعرفونها اليوم عن سلوك الغازات.

ولقد عبدت مضخة الهواء الطريق أيضًا لتفهم ماهية الصوت، ففي عام ١٧٠٥ وضع فرنسيس هوكسي ساعة في آنية مقفلة ثم ضخ الهواء منها، ولما تمت عملية إزالة الهواء من الآنية لم يعد ممكنًا سماع صوت الساعة، وقد أثبت ذلك أن الهواء يلعب دورًا مهمًا في نقل الصوت إلى

آذاننا، وقد أثبتت الدراسات التي أجريت بعد ذلك أن الصوت هو في الواقع عبارة عن ذبذبة الهواء.

مضخات التفريغ الحديثة:

الفراغ في حد ذاته أداة من أدوات العلم ذات شأن وخطر، ولقد رأينا أنه يستخدم في أداتين من الأدوات التي سبق وصفها في هذا الكتاب، وهما بندول الجاذبية والترمومتر، وسنرى في الأبواب القادمة تكرر استخدامه مرة بعد أخرى، وعلى حد قول أحد رجال العلم: إن الفراغ العالي هو قوام معمل الفيزياء الحديث، ولإحداث الفراغ العالي الذي نحتاج إليه كان لابد من ابتكار مضخات تفريغ جديدة أكثر كفاءة.

وقد صمم العالم الألماني «جيدي» أحد أنواع هذه المضخات، وفيه تستخدم عجلة دوارة لسحب الهواء من الوعاء الذي يحتويه، ويبين الشكل التخطيطي الموضح فيما بعد الفكرة التي ينبني عليها عمل هذه المضخة، فالماسورة المشار إليها بالحرف «أ» تتصل بالوعاء الذي يراد إزالة الهواء منه، وعندما تدور العجلة فإنها تجر معها الهواء الذي تلامسه، وهي بذلك تسحب الهواء من «أ» وتدفعه إلى الخارج عند «ب».

ويمكن الحصول أيضًا على فراغ عالٍ بوساطة مضخة بخار الزئبق التي اخترعها العالم الأمريكي إرفنج لانجموير، ويبين الشكل التخطيطي بهذه الصفحة كيف تعمل هذه المضخة، توصل الماسورة التي في أعلى المضخة بالخزانة التي يراد سحب الهواء منها، ثم يسخن الزئبق الموجود في

قرار المضخة كي يتبخر، وعند تبخره يصعد في الأسطوانة التي تتوسط المضخة، وفي أعلى الأسطوانة والجدار الخارجي للمضخة، وهذا الجدار الخارجي محاط بغلاف مائي يجري فيه ماء بارد، ويبرد هذا الماء بخار الزئبق فيتكثف إلى قطرات سائلة، وحينما يتكثف البخار فإنه يحدث فراغًا، وهذا الفراغ يسحب الهواء من الماسورة التي بأعلى المضخة فيجره معه الزئبق المتساقط إلى أسفل ثم يدفعه خارج الماسورة المبينة على اليمين في الشكل، وحينما يسقط الزئبق إلى القرار فإنه يتبخر من جديد بالتسخين ويمر خلال الدورة مرة أخرى.

اختراع الحرارة:

اختُرعت المواقد والأفران لتوليد الحرارة، وتوجد كذلك عدة أدوات أخرى صُممت لإزالة الحرارة من الأشياء وجعلها أكثر برودة.

وثمة طرق شتى لإحداث البرودة، كل منها ينتفع بخاصية مختلفة من خصائص الطبيعة، فنحن نعرف مثلًا أنه إذا تلامس جسمان تختلف درجتا حرارتهما، فإن الحرارة تسري في الجسم الأكثر دفئًا إلى الجسم الأبرد.

ولذلك إذا أردنا تبريد طعام فإننا نضعه بمقربة من الثلج في صندوق ثلج، عندئذ تسري الحرارة لازمة لتحويل سائل إلى بخار، فالسائل الذي يتبخر يأخذ الحرارة اللازمة لتبخره من أي جسم يلامسه، ولذلك إذا أردنا تبريد طوار في الصيف القائظ رششناه بالماء، فيسحب

الماء المتبخر الحرارة من الطوار ويبرده، ونستخدم هذا المبدأ نفسه في الثلاجة الكهربائية، ففي مواسيرها يسري سائل سهل التبخر، وعندما يتبخر ينتزع الحرارة من الهواء والطعام الموجودين داخل الثلاجة، وينساب البخار الناتج إلى مضخة ضاغطة تضغطه إلى حيز صغير جاعلة إياه دافئًا في نفس الوقت، ويمر البخار المضغوط في أنابيب ملتوية متشعبة معرضة للهواء، فتتسرب الحرارة من البخار الساخن إلى الهواء البارد الذي يكتنف هذه الأنابيب، ويتحول البخار المبرد إلى سائل مرة أخرى، ويعود سيرته الأولى منسابًا في الثلاجة لينتزع كمية أخرى من الحرارة.

وثمة طريقة ثالثة للتبريد جاءت ثمرة الخبرة مع الفراغ الذي أصبح ميسورًا بفضل مضخات الهواء، فقد وُجد أنه إذا تمدد غاز إلى حيز مفرغ، فإن درجة حرارته تنخفض في نفس الوقت الذي يتناقص فيه ضغطه.

وتستخدم هذه القاعدة في الوقت الحاضر لتحضير الهواء السائل، ولصنع الهواء السائل يبرد الهواء أولًا بوساطة آلة تبريد عادية، ثم يسمح له بالتمدد من خلال ثقب صغير إلى حيز مفرغ، ومن شأن هذا التمدد أن يجعل الهواء أكثر برودة، ويستخدم هذا الهواء المبرد في تبريد الدفعة التالية من الهواء التي سيسمح لها بالتمدد، فيزداد برودة من جديد، ثم يستخدم هذا الهواء المبرد في تبريد الدفعة التالية من الهواء، وبهذه الكيفية أمكن جعل درجة حرارة الهواد الداخل إلى حيز مفرغ أقل فأقل حتى يتكثف ويصير سائلًا.

الباب الخامس
جسيمات داخل جسيمات

الجزيئات والذرات:

نحن نعيش في عالم كيميائي، فالماء الذي نشربه، والطعام الذي نأكله، والهواء الذي نتنسمه، كلها مواد كيميائية، وبعض هذه الأشياء، كالهواء عبارة عن مخلوطات من عدة أنواع مختلفة من المواد الكيميائية،

والبعض الآخر كالماء عبارة عن صنف واحد من المواد الكيميائية، والكائنات الحية على الأخص عبارة عن مخلوطات معقدة تحتوي على مئات الأنواع المختلفة من المواد الكيميائية، ويطلق على المادة التي ليست مخلوطًا والتي تتألف من صنف واحد اسم المركب، وقد اكتشف الكيميائيون بالبحث والفحص والاختبار مئات الألوف من أنواع مختلفة من المركبات الكيميائية.

ويتألف المركب من جسيمات دقيقة تعرف بالجزيئات، ولكل مركب نوع من الجزيئات خاص به، ولذلك توجد مئات الألوف من أنواع مختلفة من الجزيئات، وفي المركب النقي نجد أن جميع الجزيئات من نوع واحد فقط، وقد تكون مختلطة معًا في غير ترتيب كأنها قوالب قرميد في كدس، أو قد تكون مرصوصة بإتقان كالقوالب في جدار.

وقد جال في خاطر العلماء الأقدمين أن جميع المواد الكيميائية تتألف، على

اختلافها وتنوعها، من عدد قليل من العناصر ينتظم في توالفات مختلفة، وهم وإن كانوا أخطأوا الحدس عن عدد العناصر إلا أنه تبين أنهم كانوا في حدسهم صادقين، إذ يعرف الآن من العناصر المختلفة زهاء المائة، يتألف كل منها من جسيمات دقيقة جدًا تعرف بالذرات، وهذه الذرات هي اللبنات التي تتألف منها مئات الألوف من أنواع الجزيئات المختلفة، وتتوقف الماهية الكيميائية لجزيء ما على نوع الذرات التي يحتوي عليها وعلى كيفية ترتيبها داخل الجزيء.

المواد الكيميائية أدوات:

إن وظيفة الكيميائي هي دراسة خواص المركبات الكيميائية والعناصر التي تتألف منها، فهو يحطم الجزيئات ليستبين ما تحتويه من ذرات، كما يدرس الكيفية التي تتبادل بها الجزيئات الذرات، مثلما يتبادل الراقصون رفاقهم، وهو يعمل على أن تتحد الجزيئات الصغيرة، بعضها مع بعض، لتكون جزيئات كبيرة، وفي كل هذا النشاط الكيميائي تقوم المركبات والعناصر بدور مزدوج، فهي من ناحية عبارة عن الأشياء التي يدرسها الكيميائي، ومن ناحية أخرى فإنها أيضًا عبارة عن الأدوات التي يستخدمها في القيام بدراسته، فيستخدم مادة كيميائية للتأثير في أخرى حتى يتسنى له مشاهدة التغيرات التي تنشأ، ويشار غالباً إلى المادة الكيميائية التي تستخدم كأداة على هذا النحو باسم «الكاشف».

وإنه وإن كان من المستطاع استخدام أية مادة كيميائية ككاشف، إلا أن بعضها له أهمية خاصة، وثمة طائفتان رئيستان من هذه المركبات تعرف بالأحماض والقواعد، وهي من الأضداد ذات الميل الشديد، كل إلى ضده، وحينما تتحد فإن مركبات جديدة تنشأ، والخل مثل مألوف لحمض معتدل، وماء القلى مثل لقاعدة قوية جدًا.

الجسيمات داخل الذرة:

تتألف الجزيئات من ذرات، وتتألف الذرات بدورها من جسيمات أصغر وأبسط، فالمائة، أو ما نحو ذلك، من الذرات المختلفة عبارة عن توالفات متنوعة من جسيمات ثلاثة أساسية، هي الإلكترون والبروتون والنيوترون، والإلكترون عبارة عن جسيم كهربي يحمل شحنة مضادة، أي شحنة موجبة، بنفس القدر من الشدة، أما النيوترون فليست له أية شحنة كهربية، وتؤثر الشحنات الكهربية، التي تكون قريبة من بعضها، الواحدة في الأخرى، فالشحنتان المتضادتان تتجاذبان الواحدة نحو الأخرى، والشحنتان المتشابهتان في النوع تتنافران، وتحاول الواحدة دفع الأخرى، ويعبر عن هذه الدفعات والجذبات بالقوى الكهربية، كما يطلق على أي حيز توجد فيه قوى كهربية اسم «المجال الكهربي».

وتتكدس النيوترونات والبروتونات داخل الذرة في لباب مركزي يعرف باسم النواة، ولما كانت البروتونات التي في النواة تحمل شحنات كهربية، فإن النواة تكون محوطة بمجال كهربي يعمل على اجتذاب

الإلكترونات، وشدة جذب هذا المجال على درجة من القوة تكفي لاحتضان إلكترون واحد والاحتفاظ به لقاء كل بروتون في النواة، وتنتظم الإلكترونات حول النواة في طبقات، وعندما تكون النواة محاطة بإلكترونات بالقدر الذي تحتمله، فإن الشحنات السالبة على الإلكترونات تعادل الشحنات الموجبة على البروتونات، وتكون الذرة بوجه عام متعادلة كهربيًا، وتتوقف الخصائص الكيميائية للذرة كلية على البروتونات في نواتها، أو ما يبلغ نفس الشيء، على عدد الإلكترونات التي تحيط بالنواة عندما تكون محتضنة لكل الإلكترونات التي تستطيع احتمالها.

وأصغر ذرة موجودة في الكون هي ذرة الهيدروجين، إذ أن نواتها ذات بروتون واحد ولا تحتضن إلا إلكترونًا واحدًا، على أن البروتين قد يوجد بمفرده داخل نواة الهيدروجين أو بمرافقة نيوترون واحد أو نيوترونين، أما أكبر ذرة في الكون فهي ذرة اليورانيوم، وهي ذات ٩٢ بروتونًا في النواة، كما أنها تحتضن ٩٢ إلكترونًا حول النواة، وفي معظم ذرات اليورانيوم يوجد ١٤٦ نيوترونًا مرافقة للبروتونات في النواة، على أن بعض ذرات اليورانيوم التي تلعب دورًا مهمًا في توليد الطاقة الذرية تحتوي على ١٤٣ نيوترونًا فقط.

فرك الإلكترونات:

تهدف بعض أدوات العلم الحديث إلى تمكيننا من السيطرة على

الجسيمات الكهربية الموجودة داخل الذرات، فهذه الأدوات تمدنا بالوسائل التي تيسر لنا جمع هذه الجسيمات وتخزينها وجعلها تتحرك.

ومن أوائل هذه الأدوات؛ أداة قام عملها على الاستفادة من حقيقة عرفت قبل إدراك كنهها بزمن طويل، فمنذ ألفي سنة خلت عرف اليونانيون القدماء أنه إذا دلكت قطعة من الكهرمان فإنها تكتسب القدرة على التقاط الجسيمات الصغيرة، وفي القرن السادس عشر اكتشف وليام جلبرت، العالم الإنجليزي، أن الزجاج ومواد أخرى كثيرة يمكن إكسابها نفس هذه القدرة الخفية، ونحن نعلم اليوم كيف تتولد هذه القدرة، فحينما تدلك قطعة من الزجاج بقطعة من الحرير فإن هذا الدلك يزيل بعض الإلكترونات التي تحيط بنوبات الذرات داخل الزجاج، ونتيجة لذلك يصير بعض الشحنة الموجبة على هذه النوبات غير متعادل، فإذا قربنا من الزجاج جسيمات صغيرة فإن الشحنات تجذب الإلكترونات منها.

وتكون قوة الجذب من الشدة بحيث تكفي لالتقاط هذه الجسيمات، وتعرف الآلة التي يقوم عملها على الاستفادة من هذا التأثير الكهربي الذي ينشأ من ذلك مادة بأخرى بالآلة الكهروستاتيكية، وفي أحد النماذج البسيطة للآلة الكهروستاتيكية يدار قرص من الزجاج بحيث يحتك أثناء دورانه بقطعة من الجلد، فيزيل هذا الاحتكاك الإلكترونات من القرص ويكسبه شحنة موجبة، ومركب بالقرب من القرص الدوار موصل معدني تمتد منه صوب الزجاج عدة أسنان حادة،

كأسنان المشط، حتى لتكاد تلامس الزجاج، وتجذب الشحنة الموجبة التي على القرص الإلكترونات من الموصل، فتسرى هذه الإلكترونات من الأسنان إلى القرص لتعوضه ما فقده منها، ويفقد الموصل بذلك بعض إلكتروناته ويصير هو نفسه موجب الشحنة.

وإذا قرب جسم ملامس للأرض من موصل ذي شحنة عالية، فإن شرارة تقفز من هذا الجسم إلى الموصل نظرًا لأن فيضًا من الإلكترونات ينجذب نحو الموصل بسبب الشحنة الموجبة عليه.

اختزان الشحنة:

من المستطاع اختزان شحنة كهربية، ويعرف الوعاء الذي تختزن فيه باسم المكثف، وفي أحد نماذج المكثفات يوجد لوحان معدنيان موضوعان بجانب بعضهما، يفصلهما حيز من الهواء أو مادة كالزجاج أو الميكا، فإذا حدث أن تراكمت شحنة موجبة على أحد اللوحين وتراكمت شحنة سالبة على اللوح الآخر، فإن كل شحنة باجتذابها الأخرى، تقيدها في مكانها، وإذا وصل اللوحان بعد ذلك بسلك فإن الإلكترونات تسري في السلك من اللوح المشحون بشحنة سالبة إلى اللوح المشحون بشحنة موجبة حتى يصير اللوحان متعادلين كهربيًا، وعندما يحدث ذلك نقول إن المكثف قد فرّغ.

انسياب الإلكترونات بانتظام:

حينما يفرغ مكثف تندفع الإلكترونات من اللوح الذي تكون فيه الإلكترونات أكثر من القدر اللازم إلى اللوح الذي تكون فيه أقل من القدر اللازم، على أن سريان الإلكترونات، أو التيار الكهربي، لا يستمر إلا فترة قصيرة سرعان ما يستعاد بعدها التوازن الكهربي في كلا اللوحين، وللاحتفاظ بسريان التيار مدة طويلة ينبغي أن تكون لدينا وسيلة ما للقضاء على هذا التوازن بمجرد استعادته، وإحدى الوسائل التي تحقق ذلك هي العمل باستمرار على إمداد اللوحين بشحنات جديدة من آلة كهروستاتيكية تدار دورانًا مستمرًا، وهناك وسيلة أخرى، وذلك باستخدام التأثير الكيميائي للقضاء على التوازن الكهربي، وتعرف الأداة التي تستخدم في هذا الغرض بالبطارية، وفي بطارية النور الكشاف العادية مثلًا يوجد عمود من الكربون يحيط به غلاف من الخارصين، ويفصلهما مخلوط كيميائي، وهذا المخلوط الكيميائي، بتأثيره في الكربون والخارصين يعمل على تراكم مزيد من الإلكترونات على الخارصين بينما يسحبها من الكربون، وإذا وصل الخارصين بالكربون بوساطة سلك، فإن الإلكترونات تسري من الخارصين، الذي يجنح إلى أن يكون لديه مزيد منها، إلى الكربون، الذي يجنح إلى أن يكون لديه قليل منها، ولكن التأثير الكيميائي لا يلبث أن يقلب التوازن الكهربي من جديد بمجرد استعادته، وبذلك ينساب من الخارصين إلى الكربون تيار من الإلكترونات بصورة منتظمة.

التحليل الكهربي:

يولد التأثير الكيميائي في بطارية تيارًا كهربيًا، ويمكن إحداث عكس هذه العلاقة، فهناك حالات يستخدم فيها تيار كهربي لإحداث تأثير كيميائي، فعندما يمر تيار كهربي في محلول مثلًا، فإنه قد يحلل الجزيئات التي في المحلول ويفصل الذرات التي كانت متحدة أصلًا في الجزيئات.

وتسمى عملية الانفصال الكيميائي هذه الناشئة عن مرور تيار كهربي «التحليل الكهربي»، فجزيء الماء مثلا يتكون من ذرة أكسجين متحدة مع ذرتين من الهيدروجين، فإذا سرى تيار كهربي من قطب إلى آخر خلال الماء فإن جزيئات الماء تتحلل وتنفصل ذرات الأكسجين عن ذرات الهيدروجين، ويتحرك كل منهما في اتجاه مضاد للآخر في الماء، فتسير ذرات الأكسجين صوب أحد القطبين بينما تسير ذرات الهيدروجين صوب القطب الآخر، وعند القطبين يتكون من هذه الذرات فقاقيع تخرج من الماء، ويستخدم التحليل الكهربي في صناعة بعض المواد الكيميائية التجارية، كما أنه أداة مهمة أيضًا في دراسة سلوك المواد الكيميائية تحت تأثير تيار كهربي.

المغنطيسات:

وثمة وسيلة أخرى تقوم على استخدام المغناطيسات للحصول على فيض منتظم من الإلكترونات، وتصنع المغناطيسات من مواد خاصة ذات قدرة على التنافر والتجاذب بعضها مع بعض، ويشبه سلوك المغنطيسات من

بعض الوجوه سلوك الشحنات الكهربية، فكما أنه يوجد نوعان من الشحنات الكهربية موجبة وسالبة، كذلك يوجد نوعان من الأقطاب المغناطيسية يطلق عليها اسم القطبين الشمالي والجنوبي.

وكما هي الحال في الشحنات الكهربية يتنافر القطبان المتماثلان في النوع، الواحد مع الآخر، ويتجاذب القطبان المختلفان في النوع، الواحد نحو الآخر، وكلا النوعين من الأقطاب يوجد دائمًا في كل مغناطيس، قطب عند كل طرف، ويمثل الحرفان ش، ج موضعي القطبين الشمالي والجنوبي في قضيب المغناطيس، وفي مغناطيس حدوة الفرس المبين في الشكل التالي.

وتسمى كل قوة دفع أو جذب يؤثر بها قطب مغناطيسي «القوة المغناطيسية»، كما يسمى الحيز الذي يظهر فيه تأثير قوي مغناطيسيًا باسم المجال المغناطيسي. والقوى المغناطيسية ليست كالقوى الكهربية، فقضيب المغناطيس يحيط به مجال مغناطيسي، حتى ولو كان المغناطيس بأكمله، بما في ذلك القطبان اللذان في طرفيه، متعادلًا كهربيًا، على أن القوى المغناطيسية والكهربية وإن كانا مختلفتين، إلا أنهما ترتبطان بعلاقة، بعضهما ببعض.

المغناطيس الكهربي:

توجد علاقة ذات وجهين بين الكهربية والمغناطيسية، فالتيارات الكهربية يمكن استخدامها لاستحداث مغناطيسات، والمغناطيسات يمكن

استخدامها لإحداث تيارات كهربية، وقد اكتشف أولى هاتين الحقيقتين الفيزيائي الدانماركي «أورستد» عام ١٨١٩، كما اكتشف الفيزيائي الإنجليزي فارادأي ثانيتهما، بعد ذلك بخمسة عشر عامًا.

اكتشف أورستد أنه عندما يمر تيار كهربي في سلك فإن مجالًا مغناطيسيًا يحيط بالسلك، وهذا المجال يؤثر في قطبي مغناطيس صغير، كما يحدث تمامًا في المجال القريب من قضيب المغناطيس، وفي الواقع إذا لوي السلك الذي يسري فيه تيار كهربي على شكل ملف حلزوني، كما هو مبين بالشكل التخطيطي، فإن الملف يسلك مسلك قضيب المغناطيس، ويكون له قطب شمالي عند أحد طرفيه وقطب جنوبي عند الطرف الآخر.

وإذا لف السلك حول قضيب من الحديد المطاوع، فإن سريان التيار في الملف يجعل الحديد يسلك كما لو كان مغناطيسًا قويًا، ويسمى المغناطيس الذي يتكون نتيجة لسريان تيار كهربي «المغناطيس الكهربي».

ووفقًا للنظريات الحديثة في الكهربية والمغناطيسية، تنشأ المغناطيسية نتيجة لانسياب تيار كهربي، ففي كل ذرة تدور الإلكترونات المحيطة بالنواة حولها كما تدور الأرض والكواكب السيارة الأخرى حول الشمس، وتشبه حركة الإلكترونات هذه حول النواة انسياب الإلكترونات حول الملف، كما أنها تجعل كل ذرة أشبه بمغناطيس صغير، له قطب شمالي وقطب جنوبي، وتوجد هذه المغناطيسات الذرية الصغيرة في معظم المواد مختلطة بعضها ببعض في غير ترتيب، ولذلك فإن مجالاتها يتعادل بعضها مع بعض، بيد أنه في بعض المواد توجد هذه المغناطيسات

الذرية مرتبة طرفًا إلى طرف، ومن شأن ذلك أن تقوى المجالات المغناطيسية الضعيفة للذرات بعضها بعضًا مكونة مجالًا واحدًا قويًا، وتسلك المادة بذلك سلوك المغناطيس، ففي قطعة الصلب العادية توجد المغناطيسات الذرية مختلطة بعضها ببعض، ولكن عندما تقرع قطعة الصلب بمغناطيس فإن شدة جذب المغناطيس تؤرجح الذرات حتى تصف أقطابها في وضع منتظم، وحينما يحدث هذا فإن الصلب نفسه يصبح مغناطيسًا ونقول إنه قد تمغنط.

والمغناطيس الكهربي، كأي مغناطيس آخر، ذو قدرة على التقاط الحديد وبعض المواد الأخرى والاستئثار بها، كما أنه يؤثر في المغناطيسات الأخرى ويحدث فيها دفعا، ولما كانت الشحنة الكهربية المتحركة عبارة عن تيار كهربي، وكان التيار محوطًا بالمغناطيسية، فإن المغناطيس الكهربي يؤثر في الشحنة المتحركة ويحدث فيها دفعًا، وسنرى في الأبواب القادمة كيفية استخدام هذه النتيجة في بعض الأدوات الحديثة المهمة.

دفع الإلكترونات بالمغناطيسية:

اكتشف ميشيل فاراداي أنه إذا حركت عروة مقفلة من سلك عبر مجال مغناطيسي، فإن تيارًا كهربيًا يسري في السلك، ويحدث نفس التأثير ولو لم يتحرك السلك، غير أن المجال المغناطيسي الذي يحيط به قد يقوى أو يضعف، وهذا المجال المغناطيسي المتغير يكسب الشحنات الكهربية دفعًا فيجعلها تتحرك في تيار كهربي، وعلى أساس كلتا هاتين النتيجتين قامت

دعائم صناعات حديثة ضخمة، ففي مصانع توليد القوى التابعة للشركات الكهربية توجد مولدات تدور فيها ملفات من الأسلاك بسرعة في مجال مغناطيسي، وعندما تمر الأسلاك عبر المجال يبدأ تيار كهربي في الانسياب فيها، يبعث به إلى المنازل والمكاتب والمصانع حيث يستخدم، وفي محطات الإذاعة اللاسلكية تعمل المكثفات والملفات المركبة وفق ترتيب خاص، على استمرار تحرك التيار الكهربي جيئةً وذهابًا، وينشأ عن هذا التيار المتغير مجال مغناطيسي متغير ينتقل بعيدًا عن محطة الإذاعة، وحينما يعبر هذا المجال المغناطيسي المتغير هوائي جهاز للراديو فإنه يُحدث تيارًا كهربيًا صغيرًا في جهاز الراديو، وبهذه الطريقة يبلغ الرسالة التي أذيعت من محطة الإذاعة.

الكهرباء والحرارة:

إن العلماء الذين قاموا بدراسة الحرارة الأولى مرة تحدثوا عنها كما لو كانت مائعًا خاصًا يسري من جسم إلى آخر، ويمكن حفظه كما يحفظ الماء في آنية، ولكننا نعلم الآن أن الحرارة ليست مائعًا خاصًا، وإنما هي مجرد حركة الجزيئات في المادة، فجزيئات السائل أو الغاز ليست ساكنة وإنما هي في حركة سريعة هنا وهناك، كما أنها تمرق في هذا السبيل أو ذاك كأنها أطفال في ساحة لعب مكتظة، وفي الجسم الصلب تتذبذب الجزيئات جيئة وذهابًا كأنها الوتر المقروع، وإذا كان جسم أدفأ من آخر فإن هذا يعني أن جزيئاته تتحرك أسرع، ولذلك إذا أردنا أن نسخن جسمًا فعلينا أن نعجل حركة جزيئيته.

ومن بين الطرق التي يسخن ها جسم ما؛ إمرار تيار كهربي فيه، والتيار الكهربي ليس إلا انسياب الإلكترونات في الجسم، وعندما تشق الإلكترونات طريقها خلال زحمة الجزيئات في الجسم فإنها تصطدم بكثير منها، وهذه التصادمات تجعل الجزيئات تتحرك أسرع، ونتيجة لذلك يصير الجسم أكثر سخونة، ويستخدم هذا التأثير الحراري للتيارات الكهربية في الموقد والأفران الكهربية، ومن الأفران الكهربية البسيطة التي كانت ذات نفع لرجال العلم الفرن ذو القوس الكربوني، وفي هذا الفرن يدفع بتيار كهربي خلال فرجة هوائية بين قطعتين من الكربون، فتسخن الإلكترونات الهواء، وهي تشق طريقها خلاله، إلى درجة تكفي لجعله يتوهج بنور أبيض، ويستطيع قوس الكربون أن يحدث درجات حرارة عالية تبلغ نحو ٨٠٠٠ درجة فهرنهايت، وقد أمكن تسخين آلاف الأشياء في أفران المعمل ذات القوس للوقوف على خصائصها وسلوكها عند درجات الحرارة العالية.

الألوان الثرثارة:

ونستخدم التأثير الحراري للتيار الكهربي في غرض آخر في المصباح العادى للضوء الكهربي: فالتيار الكهربي يجعل فتيلة المصباح ساخنة، حتى إذا سخنت إلى درجة كافية بدأت في التوهج، وتتوهج في بادئ الأمر بلون أحمر، وبازدياد سخونة الفتيلة يصير اللون أصفر ثم أبيض ضاربًا إلى الزرقة، وينبئ اللون الذي تتوهج به الفتيلة عن درجة حرارتها، ويمكننا أن نتخيل الوهج على أنه رسالة صادرة من الذرات والجزيئات التي تتألف

منها الفتيلة، وأن نتصور الألوان على أنها ألفاظ اللغة التي صيغت فيها الرسالة، فحينما يكون الوهج أحمر فإن الجزيئات تنبئنا بأنها ساخنة إلى «درجة الاحمرار»، وحينما يكون الوهج أبيض فإنها تنبئنا بأنها ساخنة «إلى درجة الابيضاض».

وثمة نوع آخر من الرسائل التي نتلقاها بالألوان أيضًا، فإذا ذررنا قليلًا من ملح المائدة فوق لهب غاز، فإن اللهب يتلون بلون أصفر، ولو ذررنا ملح كلستيوم فوق اللهب، فإن اللهب يتلون بلون أحمر برتقالي.

ففي الوهج الأصفر نقول ذرات الصوديوم لنا «نحن الصوديوم» وفي الوهج الأحمر البرتقالي تقول ذرات الكلسيوم لنا «نحن الكلسيوم».

ولكي نفهم هذه الرسائل المستترة في الألوان، كان من الضروري التعرف على المسببات التي تجعل الذرات والجزيئات تتوهج، وعن أسباب توهجها بألوان خاصة، ولكى يجيب الفيزيائيون عن هذه الأسئلة قاموا بسلسلة طويلة من الدراسات، وقد أدت هذه الدراسات إلى اكتشاف أن كل ضوء عبارة عن رسالة تنبعث من الذرة، وأن مضمون هذه الرسالة يتوقف على تركيب الذرة، ففي كل ذرة توجد إلكترونات تتحرك في مدارات حول النواة، ولكل إلكترون عدة مدارات مختلفة يختار منها ما يتحرك فيها، وهذه المدارات أشبه بدرجات سلم في الذرة، فكل إلكترون يتحرك في مدار له كأنما يقف على درجة سلم مختلفة، وفي الأحوال العادية تشغل الإلكترونات أدنى درجات السلم، ولكن يحدث أحيانًا أن تدفعها قوى خارجية إلى درجات أعلى، وحينئذ تجذبها النواة فتسقط ثانية

إلى درجة أدنى، ويحدث شيء شبيه بهذا حينما ترفع كرة من درجة إلى درجة أعلى في سلم، وإذا تركت الكرة عند حافة الدرجة الأعلى فإن قوة شد الجاذبية الأرضية تجعلها تسقط مرة أخرى، وعند سقوطها إلى الدرجة الأدنى واصطدامها بها فإنها تقفز لأن لديها فائضًا من الطاقة مدخرًا فيها من الدرجة الأعلى، وحينما تسقط تفقد هذه الطاقة الفائضة محررة إياها في هيئة قفزة، وعلى هذا المنوال، حينما يرتفع إلكترون إلى درجة أعلى في الذرة فإنه يكتسب بعض طاقة فائضة، وحينما يسقط ثانيةً فإنه يحرر هذه الطاقة الزائدة في هيئة ومضة ضوئية.

فومضة الإلكترون الذي يسقط أشبه بقفزة الكرة التي تسقط، ويتوقف لون الومضة على كمية الطاقة التي تتحرر عند سقوط الإلكترون.

وفي هذه التجارب الاستطلاعية التي هدفت إلى الكشف عن العلاقة بين ألوان الضوء والتركيب الذري، كان من الضروري بادئ ذى بدء جعل الذرات تتوهج، ثم التقاط ضوء هذا الوهج، وفصل ألوانه بعضها من بعض ثم دراستها، ولجعل الذرات تتوهج كان لابد من تسخينها في لهب أو وضعها بين قطبي فرن ذي قوس كربوني أو في مسار شرارة كهربية، وقد استلزم فصل ألوان الوهج ودراستها أدوات خاصة لممارسة تلك العمليات الضوئية، وسيأتي وصف هذه الأدوات في الباب السادس.

العيون الصناعية:

لدينا في أجسامنا أداة خاصة لالتقاط الضوء ودراسته، وهذه الأداة هي العين، وخلف مقلة العين يوجد حائل يسمى الشبكية، وعندما يسقط ضوء على جزء من الشبكية فإن تغيرًا كيميائيًا يحدث فيها، وتعلن هذا التغير رسالة تذهب إلى المخ بوساطة العصب الذي يربط المخ بالعين، فيجمع المخ هذه الرسائل ويضمها بعضها إلى بعض فتتكون منها الصورة التي نراها.

ومنذ عام ١٨٣٩ ونحن لدينا عين صناعية نستطيع بوساطتها أن نلتقط الرسائل الضوئية ونسجلها، وهذه العين الصناعية هي آلة التصوير الفوتوغرافي «الكاميرا» وهي أيضا ذات شبكية عبارة عن شريط من مادة هلامية، أو لوح زجاجي مغطى بمستحلب فوتوغرافي، ويحتوي هذا المستحلب، كالشبكية، على مادة كيميائية حساسة للضوء، وفي المستحلب الفوتوغرافي الحديث توجد بلورات أو حبيبات صغيرة من بروميد الفضة مطمورة في صفحة من الجيلاتين، وحينما يعرض المستحلب للضوء فإنه يقذف بوابل من جسيمات ضوئية دقيقة تعرف بالفوتونات، وإذا انهال فوتون على حبيبة فقد يصطدم بجزىء من جزيئات بروميد الفضة فيفصله وتتحرك بذلك الفضة على صورة شذرة صغيرة من الفلز، وهذه الفوتونات المنثورة فوق المستحلب كرشاش الرصاص المتفجر لا تصيب جميع حبيبات بروميد الفضة، وإنما حيث يكون الضوء قويًا، فإن كثيرًا من الحبيبات يصاب، وكل حبيبة تصاب تحتوي على شذرة ضئيلة

من فلز الفضة، وحيث يكون الضوء ضعيفًا فإن قليلًا من الحبيبات يصاب، بينما لا يطرأ على معظم الحبيبات أي تغير.

وبعد تعريض المستحلب للضوء يستظهر بوضعه في محلول كيميائي خاص يعرف باسم محلول الإظهار، ويحدث هذا المحلول نفس التأثير الذي يحدثه الفوتون في الحبيبات، فهو يفصل الفضة التي بالحبيبات ويرسيها في صورة شذرات سوداء من الفلز، ومع ذلك فإن بعض هذه الحبيبات يكون محتويًا فعلًا على شذرات ضئيلة من الفضة تحررت قبل الإظهار بتأثير الفوتونات، ومن شأن هذه الشذرات الضئيلة أن تعجل فعل محلول الإظهار، ونتيجة لذلك فإن بعض أجزاء المستحلب التي كانت معرضة للضوء الشديد تسود أسرع من الأجزاء التي كانت معرضة للضوء الضعيف.

وبهذه الكيفية تتكون في المستحلب صورة تبين مقدار الضوء الذي وقع على الأجزاء المختلفة من الشريط أو اللوح، وحينما تصبح الصورة معتمة بدرجة كافية يرفع الشريط، أو اللوح، من محلول الإظهار ويغسل في محلول التثبيت الذي يزيل الحبيبات التي لم تسود بعد حتى لا يحدث اسوداد بعد ذلك، وهذا المستحلب الفوتوغرافي هو إحدى أدوات العلم المهمة المستخدمة في العلم الحديث، إذ يمدنا بوسيلة لعمل صورة دائمة للأشياء التي نلمحها بأعيننا لمحة عابرة، كما أنه يقيس شدة الضوء الذي يسقط عليه بمقدار الاسوداد الذي ينشأ، ونظرًا لهذه الخاصة فإنه يعتبر إحدى الأدوات الرئيسية التي يستخدمها الفلكي كما سنرى في الباب

السادس، ثم إنه حساس أيضًا لجسيمات غير الفوتونات، ولذلك فإنه نافع كأداة كاشفة عن الجسيمات، وسنرى في الباب الثامن كيفية استخدام الألواح الفوتوغرافية للكشف عن الأشعة الكونية والتعرف عليها، تلك الأشعة التي تأتي إلينا من الفضاء الخارجى، وكذلك للكشف عن الجسيمات المحررة من الذرات التي تحطم في المعمل.

المسحوق كأداة من أدوات العلم:

كثيرا ما يواجه الكيميائي مشكلة التعرف على المركبات الكيميائية المختلفة التي قد توجد معًا في مخلوط ما، والخطوة الأولى التي يتخذها هي فصل هذه المركبات بعضها من بعض، وإذا كان لديه عينة من كل منها في صورة نقية غير مختلطة بغيرها أمكنه أن يكشف عنها بطرق متنوعة تساعده على التعرف عليها، وتتوقف الطريقة التي يستخدمها لفصل هذه المواد الكيميائية على طبيعة المخلوط، فإذا كان المخلوط يحتوي على جسميات صلبة سابحة في سائل فقد يستطيع فصل الصلب من السائل باستخدام مرشح، وإذا كان السائل عبارة عن مزيج من عدة سوائل تغلي عند درجات حرارة مختلفة فإنه يستطيع فصلها بغلي المزيج، وإذا كان السائل يحتوي على بعض مواد صلبة ذائبة فيه، فإنه يستطيع فصلها بتبخير السائل في جفنة كبيرة قليلة الغور، وحينما يتبخر السائل فإن دقائق بخاره تنتشر في الهواء، وأثناء ذلك تتجمع الدقائق التي كانت مذابة في السائل في هيئة بلورات صلبة تتخلف في الجفنة، ومع ذلك فقد تكون الدقائق المتخلفة لا تزال عبارة عن مخلوط من عدة مركبات، وعندئذ

يكون الكيميائي لا يزال يواجه مشكلة فصلها، بعضها من بعض، وثمة طريقة شائقة لإجراء ذلك تعرف باسم الكروماتوغرافيا، وفي هذه الطريقة يستخدم مسحوق ناعم لفصلها وهي لا تزال مذابة في السائل.

وقد اخترع عالم النبات الروسي «ميشيل تزويت» طريقة الكروماتوغرافيا عام ١٩٠٦، وتنبني هذه الطريقة على كون المساحيق الناعمة ذات ميل إلى ابتزاز أية جزيئات تقترب منها، على أنها لا تستأثر بكل أنواع الجزيئات بنفس الدرجة من الشدة، فهي تفضل بعض الجزيئات على البعض الآخر، وللمذيبات أو السوائل التي تذوب فيها المركبات، خاصية مشابهة، فهي تجنح إلى أن تجذب إلى المحلول جزيئات المركبات التي تلامسها، ولكن شدة الجذب تختلف باختلاف أنواع الجزيئات لأن بعضها يذوب بسهولة أكبر من البعض الآخر، وقد وجد «تزويت» أنه يستطيع استخدام خواص المساحيق والسوائل والاستعانة بها على فصل المركبات المختلفة في مخلوط بعضها من بعض، وقد بدأ بإذابة المخلوط في سائل، ثم ملأ أنبوبة زجاجية بعمود من مسحوق اختاره اختيارًا خاصًا، بعد ذلك سكب المخلوط المذاب في أعلى العمود، وأثناء نزول السائل خلال العمود أخذ المسحوق في جذب الجزيئات من المحلول، وعندئذ سكب بعض المذيب من جديد في أعلى العمود، وفي أثناء تخلل السائل ومروره بين دقائق المسحوق التي استأثرت ببعض الجزيئات اجتذب بعضها وأعادها من جديد إلى المحلول، فسارت مع السائل متجهة إلى أسفل، وهكذا قامت لعبة شد الحبل بين المسحوق والمذيب، كل منهما يشد جزيئات المخلوط، وقد حدد التوازن بين هذين

الشدين السرعة التي تنزل بها جزيئات أي مركب في العمود، ولما كانت قوى الشد على جزيئات المركبات المختلفة ليست واحدة، فإن المركبات المختلفة كانت تنزل بسرع مختلفة، ونتيجة لذلك انفصلت عن بعضها، وكان أولها وصولًا إلى أسفل الأنبوبة تلك التي كانت تتحرك بسرعة أكبر، وبسكب المذيب أكثر فأكثر أزيلت مركبات المخلوط، واحدًا كل مرة.

ومن المعتاد الآن أن الكيميائي لا ينتظر حتى تزال هذه المركبات من العمود، ولكنه عندما يرى أن المذيب قد مر في المحلول بقدر يكفي لفصل المركبات إلى طبقات في مستويات مختلفة، فإنه يخرج العمود من الأنبوبة ويفصل كل طبقة على حدة، وتحتوى كل طبقة على مركب واحد من المخلوط يستخلصه الكيميائي منها بالإذابة، وبذلك يحصل على عينة نقية من المركب يمكن تحليلها.

كروماتوغرافيا الورق:

قد تحل قطعة من الورق في بعض التحاليل الكيميائية على عمود المسحوق، وهذه الطريقة مفيدة على الأخص في تحليل المركبات الكيميائية المعقدة جدًا والمعروفة باسم البروتينات، وهي ذات جزئيات كبيرة جدًا تحتوى عادة على المئات أو الألوف من الذرات، وتتجمع هذه الذرات في جزىء البروتين في هيئة عناقيد تسمى الأحماض الأمينية، ويوجد اثنان وعشرون نوعًا مختلفًا من الأحماض الأمينية المختلفة، وكل

جزيء في بروتين عبارة عن سلسلة من الأحماض الأمينية متصل بعضها ببعض.

والمشكلة الأولى في تحليل جزيء البروتين هي معرفة الأحماض الأمينية الموجودة فيه، ولكى يصل الكيميائي إلى ذلك فإنه يذيب البروتين، ثم يستعمل كاشفًا كيميائيًا، كحامض مثلًا، لفصم الروابط التي تصل الأحماض الأمينية بعضها ببعض، فيحصل نتيجة لذلك على مزيج من الأحماض الأمينية في المحلول، يحاول بعد ذلك أن يفصلها ويتعرف عليها، وتحقيقًا لهذا الغرض يستخدم كروماتوغرافيا الورق، وفي هذه الطريقة يضع قطرة من المزيج في أعلى شريط من الورق، ثم يعلق الشريط في وعاء يكون الهواء فيه محملًا ببخار الماء على أكبر قدر يستطيعه، وبحيث تكون القطرة في الجانب العلوي من الشريط، بعد ذلك يثني الحافة العليا للشريط ويغمسها في حوض يحتوى على المذيب، فيسري المذيب في الورق ثم يبدأ في التسريب إلى أسفل على طول الشريط حتى إذا مر بالقطرة التقط الأحماض الأمينية منها.

وعندئذ تبدأ لعبة الحبل بين المذيب وبين الورق، ففي أثناء نزول الأحماض الأمينية على طول الشريط تشدها الورقة باستمرار من المذيب مما يجعل رحلتها في النزول بطيئة، كما أن سرعة البعض تكون أبطأ من سرعة البعض الآخر، ولذلك يكون نزول الأحماض الأمينية المختلفة ذا سرعة مختلفة، وبعد فترة من الزمن نجد أن كل حمض أميني قد شغل موضعًا مستقلًا على الورقة، وتصبح هذه المواضع مرئية في هيئة بقع

ملونة إذا ذر شريط الورق بمحلول خاص، ونظرًا لأن الكيميائي سبق له أن قام بإجراء التجربة نفسها على العينات النقية من كل من الاثنين والعشرين حمضًا الأمينية، فإنه يكون على معرفة بالسرعة التي يسري بها كل حمض إلى أسفل شريط الورق، وتبعًا لذلك يكون على معرفة بالمدى الذي يصل إليه كل حمض أميني في فترة معينة من الزمن، وفي ضوء هذه الحقيقة يستطيع أن يقرر الأحماض الأمينية التي كانت موجودة في المخلوط الأصلي من مواضع البقع الملونة على شريط الورق، وتسمى هذه الطريقة «الكروماتوغرافيا» أو كتابة الألوان لأن موضع كل بقعة ملونة يعتبر بمثابة توقيع مكتوب يعلن به الحمض الأميني عن وجوده.

النويات المتفجرة:

تتألف جميع المواد من جسيمات داخل جسيمات في داخل جسيمات، فالمركبات تتألف من جزيئات، والجزيئات تتألف من ذرات، وكل ذرة عبارة عن نواة تحيط بها إلكترونات، ويشغل علماء الفيزياء النووية أنفسهم في الوقت الحاضر باستطلاع باطن النواة، وقد جدوا أن النواة تتألف أيضًا من جسيمات، وباستخدامهم محطمات الذرة، التي سيرد وصفها في الباب السابع، وكشافات الجسيمات، التي ستوصف في الباب الثامن، استطاعوا تحرير هذه الجسيمات والتقاطها والاستدلال على ذاتيتها، ومع ذلك فإنه توجد بعض النويات لا تنتظر مصيرها كي تحطم، وإنما تحطم ذاتها من تلقاء نفسها، وهذه النويات المتفجرة، التي تقذف بجسيمات ذات سرعة فائقة وأشعة سينية قوية، تسمى «النويات المشعة»،

وهذه النوبات تؤلف موضوعًا مهمًا في دراسة الفيزياء الحديثة، فضلًا عن أنها أداة فعالة من أدوات العلم.

ويمكن استخدام هذ النوبات المتفجرة كمقتفيات للأثر يمكن بوساطتها التعرف على الخطوات التي تتم بها عملية كيميائية معقدة، فإذا أردنا مثلًا أن نعرف كيف يستفيد نبات ما من الكربون الذي يمثله من ثاني أكسيد الكربون الجوي، فإننا نغذي هذا النبات بثاني أكسيد الكربون المحضر تحضيرًا خاصًا، والذي يكون الكربون فيه مشعًا، وعندئذ، حيثما يذهب الكربون أثناء سيره في جسم النبات، فإنه يعلن عن وجود بإطلاق جسيمات يمكن التقاطها بوساطة كشاف الجسيمات، وفي سلسلة من الدراسات التي أجريت للتعرف على الكيفية التي تصنع بها النباتات السكر، استخدم العلماء مجموعة ثلاثية من الأدوات التي وصفناها، وهي مقتفيات الأثر الإشعاعى وكروماتوغرافيا الورق والشريط الفوتوغرافي، فبدأوا بتغذية نباتات من وحيدة الخلايا، المعروفة باسم الطحالب، على الكربون المشع، بعد ذلك طحنوا هذه الخلايا وأذابوا ما بها من مواد كيميائية في سائل، ثم فرقت عينة من السائل إلى مكوناتها على شريط من الورق بطريقة كروماتوغرافيا الورق، وعندئذ وضع شريط الورق مقابلًا لشريط فوتوغرافي، ولما كانت بعض البقع على شريط الورق تحتوى على كربون مشع، فقد صورت نفسها على الشريط الفوتوغرافي بوساطة الجسيمات والأشعة السينية المقذوفة من الذرات المتفجرة، وهكذا أمكن التعرف على المركبات التي تحتوي على الكربون المشع من مواقع البقع التي صورت، وقد استمد العلماء من تعرفهم على

هذه المركبات، الأدلة على الخطوات التي تتبعها الطحالب في جعل ثاني أكسيد الكربون يتحد مع الماء لتصنع منهما سكرًا.

الباب السادس
المكون الرجراج

الضوء رسالة

الضوء رسالة إلينا من العالم المحيط بنا، فهو يحمل إلينا معلومات عن الأشياء المألوفة في حياتنا اليومية، تنبئنا بأحجامها وأشكالها ومواضعها، وهو يساعدنا على التعرف على المواد التي تتركب منها هذه الأشياء، ولما كان الضوء يصدر من داخل الذرة فإنه يحمل مفاتيح التركيب الذري.

وحينما يفد إلينا من النجوم النائية فإنه يكون زاخرًا بالمعلومات عنها: مم تتركب؟ وما حجمها ووزنها؟ وما مبلغ حرارتها؟ وبأي سرعة تسير؟

ويستخدم العلماء لتلقي هذه الرسائل وتفسيرها، أدوات خاصة لالتقاط الضوء وممارسة التجارب به، وتتجمع هذه الأدوات من أجهزة بسيطة لثني الضوء وتفريقه وحصره وقياسه.

الذبذبات والموجات:

والضوء عبارة عن ذبذبة تسير في الفضاء، ولذلك فإن الفضاء بأجمعه، وهو مغمور بضوء الشمس والنجوم، يهتز بسبب هذه الذبذبة كما يهتز الفالوذج الرجراج، وتنتقل الذبابات في موجات كما تنتقل أمواج الماء

على سطح بحيرة، ويمكن تصور هذه الموجات بصورة تقريبية كقمم وقيعان يتناوب بعضها مع بعض، وتشمل الموجة الكاملة قمة واحدة وقاعًا واحدًا، وسنرى أنه من الممكن قياس طولها، وتدل نتائج هذه القياسات على أن ألوان الضوء المختلفة ذات أطوال موجات مختلفة، فالألوان في قوس قزح مرتبة حسب ترتيب أطوال موجاتها من البنفسجي ذي الموجات الأقصر إلى الأحمر ذي الموجات الأطول.

وحينما تسير موجات الماء عبر سطح بحيرة، فإن قممها المتحركة تبدو كأنها صفوف من الجند في استعراض، إذ تسير على مسافات منتظمة، كما أن كل صف يفصله عن الصف الذي يليه مسافة قدرها طول موجة واحدة، ومن المناسب في أغلب الحوال أن نتصور حركة الضوء بنفس الكيفية التي تتقدم بها سلسلة من الخطوط، كل خط منها، ويعرف بجبهة الموجة، يسم موضع قمة أثناء اجتيازها الفضاء، ويسمى الخط الذي يكون عموديًا على جبهة الموجة «الشعاع»، وهو يدل على الاتجاه الذي تتحرك فيه الموجات، وفي الرسوم التخطيطية الموضحة لحركات الضوء تتدرج الأشعة في بعض الأحيان بينما تترك جبهات الموجة.

ثني الضوء:

يسير الضوء في الفضاء الفارغ بسرعة قدرها ١٨٦٠٠٠ ميل في الثانية، وهو في سيره أكثر بطئًا في الحيز الذي يحتوي على جسيمات مادية،

وعندئذ تتوقف سرعته على نوع الجسيمات الموجودة في الحيز ودرجة اكتظاظها فيه. وتسمى مجموعة الظروف الكائنة في مادة ما والتي تؤثر في سرعة الضوء «الكثافة الضوئية» لتلك المادة، ولما كان الزجاج ذا كثافة ضوئية أكبر من كثافة الهواء، فإن سرعة الضوء تقل حينما يمر من الهواء إلى الزجاج، ونظرًا لهذا التغير في السرعة فإن الضوء ينثني عادة أو يغير اتجاهه.

ونستطيع أن ندرك سبب انثناء الضوء عندما يدخل في مادة ذات كثافة ضوئية أكبر، وذلك بتتبع حركات جبهات موجته عندما تجتاز الحد الفاصل، ففي الرسم التخطيطي بصفحة ٧٦ نشاهد سلسلة من جبهات موجة تسير في الهواء مقتربة بميل نحو قطعة من الزجاج، وبسبب هذا الميل فإن جزءًا من هذه الجبهة يدخل الزجاج قبل بقية أجزائها، فتقل سرعته بينما تتحرك الأجزاء الأخرى من الجبهة بالسرعة التي تسير بها عادة في الهواء، ونتيجة لذلك فإن جزء الجبهة الموجود في الزجاج يأخذ في التخلف ويتحول اتجاه الخط الذي يمثله إلى اتجاه جديد يتحرك فيه.

ويستبين التغير في الاتجاه من الأسهم الدالة على الشعاع المتعامد مع جبهات الموجة.

وقد تكون جبهات الموجة في بعض الأحيان موازية لسطح الزجاج عندما تقترب منه، بينما تكون الأشعة عمودية عليه، وعندئذ تدخل جميع أجزاء الجبهة الزجاج في نفس الوقت، ويترتب على ذلك أن تقل سرعة جميع أجزاء الجبهة بدرجة واحدة، ولا يتخلف جزء عن آخر، كما أن

الخط لا يغير اتجاهه، وعلى ذلك فإن الضوء لا ينعطف ولا ينثني إلا عندما تسقط أشعة الضوء بميل على سطح الزجاج.

انثناء مزدوج:

تعرف قطعة الزجاج التي على شكل وتد باسم المنشور، وعندما يمر الضوء خلال المنشور فإنه ينثني مرتين، ينعطف مرة حينما يمر من الهواء إلى الزجاج، ثم ينعطف مرة أخرى حينما يعود إلى الهواء على الجانب الآخر من المنشور، والتأثير الكلي لهذين الانعطافين هو أن شعاع الضوء ينحرف نحو قاعدة المنشور.

وإذا وضعنا منشورين بحيث تكون قاعدة أحدهما بمحاذاة قاعدة المنشور الآخر، ثم مرر الضوء خلالهما فإن كل منشور يثني الضوء نحو قاعدته، ويترتب على ذلك أن شعاعي الضوء ينعطفان من الجوانب نحو الوسط، وإذا كان شعاعا الضوء متوازيين عند دخولهما المنشورين فإنهما يتقاربان نحو نقطة واحدة بعد خروجهما، أما إذا كانا متقاربين فعلًا عند دخولهما المنشورين فإن تقاربهما بعد خروجهما يكون أسرع.

وتشبه العدسة المحدبة منشورين متلاصقين قاعدة إلى قاعدة، كما أن لها نفس التأثير الانثنائي على الضوء.

ولما كانت العدسة المحدبة تجعل أشعة الضوء المتوازية تتجمع نحو نقطة، فإنها تكون مفيدة كعدسة محرقة، فحينما تدخل أشعة ضوء الشمس العدسة تكون متوازية، ولكن العدسة تجمعها وبذلك تركز حرارتها في

بقعة صغيرة، وتصير البقعة كأنها فرن ذو درجة حرارة عالية، ولقد لعبت العدسة المخرقة دورًا مهمًا في اكتشاف الأكسجين، فقد حصل جوزيف بريستلي، العالم الإنجليزي الذي عاش في القرن الثامن عشر، على عينة من الأكسجين النقي بتسخين مركب أحمر من مركبات الزئبق.
ولكي يسخن بريتسلي هذا المركب وضعه في بقعة سلطت عليها أشعة ضوء الشمس بوساطة عدسة محرفة، وتعرف هذه البقعة بالبؤرة الرئيسية للعدسة، ويتوقف بعدها عن العدسة على شكل العدسة.

جعل الأشياء تبدو أكبر من حقيقتها:
والعدسة المحدبة هي أيضًا بمثابة عدسة مبكرة أو ميكروسكوب بسيط، فإذا وضع جسم صغير بين العدسة وبين بؤرتها الرئيسية فإن أشعة الضوء الآتية من أعلى الجسم ومن أسفله تنثني عند مرورها خلال العدسة، وهذا الانثناء يجعل الضوء الآتي من أعلى الجسم يبدو كما لو كان آتيًا من نقطة أعلى، كما يجعل الضوء الصادر من أسفل الجسم يبدو كما لو كان صادرًا من نقطة أوطأ، ونتيجة لذلك فإن الجسم يبدو كما لو كان ممتطًا، ولذلك يظهر أكبر من حقيقته.

وفي القرن السابع عشر قام العالم الإنجليزي وليم هارفي بدراسة الكيفية التي ينمو بها الكتكوت في البيضة بواسطة عدسة مكبرة، وكانت مشاهداته هذه بداية علم الأجنة، وهذا هو العلم الذي يختص بدراسة كيفية نمو حيوان كامل من خلية دقيقة مفردة.

رؤية ما لا يُرى:

تزداد قوة تكبير عدسة محدبة إذا وضعت اثنتان منها في التناسق المعروف باسم الميكروسكوب المركب، وفي هذا التناسق يؤتى بجسم صغير بالقرب من إحدى العدستين ويسمى «الشيئية»، ثم يوضع على مسافة أبعد قليلًا من البؤرة الرئيسية للعدسة، فنجد أن الضوء الصادر من الجسم يكون، بعد مروره خلال العدسة، صورة مكبرة للجسم على الجانب الآخر من العدسة وحينما تشاهد الصورة من خلال العدسة الثانية، وتسمى العينية، فإنها تكون مكبرة من جديد، وتكبير الصورة مرتين على هذا النسق ييسر لنا رؤية الأشياء التي لا تتسنى رؤيتها بالعين المجردة، وقد اخترع التاجر الهولندي أنطون فون ليفوهوك الميكروسكوب المركب واستخدمه في الكشف عن عالم جديد، عالم الأشياء الصغيرة الذي تفتح أمام عينيه، فشاهد من خلال ميكروسكوبه كائنات حية لم يرها إنسان من قبله، وتسمى هذه الكائنات «البروتووا»، وهي عبارة عن حيوانات تتركب أجسامها من خلية واحدة، وقد أثبت البحث والاستقصاء بوساطة الميكروسكوب أثناء المائتي عام التالية أن جميع الكائنات الحية تتركب من خلايا، وأن النباتات والحيوانات الكبيرة عبارة عن مجموعات من هذه الخلايا يعيش بعضها مع بعض كجماعة منظمة، ولقد ساعد ميكروسكوب ليفوهوك على إثبات صحة نظرية هارفي عن الدورة الدموية، فقد قال هارفي إن الدم ينساب من القلب خلال الشرايين ويعود إليه خلال الأوردة، ومعنى هذا أنه لابد من وجود أنابيب يمر الدم عن

طريقها من الشرايين إلى الأوردة، وكان هارفي يعتقد بوجود هذه الأنابيب وإن لم يرها أبدًا.

ولقد كان ليفوهوك أول من شاهد هذه الأنابيب الصغيرة، المعروفة باسم الشعيرات، حينما فحص ذيل «أبي ذنيبة» تحت الميكروسكوب.

جعل الأشياء تبدو أقرب:

وتيسر العدسات المحدبة لنا أيضًا الوثوب عبر الفضاء لنلقي من قرب نظرة على الأشياء البعيدة، وتصعب عادة رؤية الشيء البعيد لسببين: أولهما أن بعده يجعله يبدو صغيرًا، وكلما بعد بدا أصغر، وسبب هذا أن الجسم البعيد يحصر زاوية صغيرة مع العين التي تراه، وثانيهما أن بعده يجعله يبدو غير واضح، وكلما بعد كان أقل وضوحًا، وسبب هذا أن الضوء الصادر من الجسم ينتشر في الفضاء أثناء انتقاله ولا يسير منه تجاهنا إلا نزر يسير، وكلما كان الجسم أبعد، قل الضوء الذي يصل إلينا منه، وقد أمكن التغلب على كلتا هاتين الصعوبتين بصورة جزئية، وذلك بوضع العدسات في تناسق خاص يسمى «التلسكوب»، وفي هذا التناسق تقوم إحدى العدسات، وتعرف بالشيئية، بوظيفة التغلب على غشاوة الضوء الذي نتلقاه، وذلك بالتقاط كمية كبيرة من الضوء ثم تركيزه في صورة صغيرة نيرة، أما العدسات الأخرى المتجمعة في العينية فتعمل كميروسكوب وتكبر الصوة، وذلك بتوسيع الزاوية التي تحصرها مع

العين، وهكذا فإن التلسكوب بتكوينه صورة للجسم أكبر وأكثر لمعانًا من تلك التي نشاهدها بالعين المجردة يجعل الجسم يبدو كأنه أقرب، ويقال عن الضوء المنثني بوساطة عدسة إنه قد انكسر، ولهذا إن التلسكوب المكون من عدة عدسات يسمى «التلسكوب الكاسر».

وقد اخترع التلسكوب في القرن السابع عشر «ليبرشى» صانع النظارات الهولندي، ولما سمع به جاليليو صنع لنفسه جهازًا واستخدمه في النظر إلى الشمس والكواكب، فاكتشف أن الشمس تدور كما تدور نحلة الأطفال، وأن للمشترى أقمارًا تدور حوله، وأن أوجه الزهرة تشتمل على وجه متحدب ينير ضوء الشمس أكثر من نصف قرصه، ولقد ساعدت هذه الاكتشافات على إثبات نظرية كوربرنيكس القائلة بأن الأرض ليست مركز الكون، وإنما هي مجرد كوكب من الكواكب السيارة التي تدور حول الشمس.

وتعتبر النجوم ومجموعاتها أبعد الأشياء التي نشاهدها من خلال التلسكوب، فهي بعيدة جدًا عنا حتى لتبدو كأنها أسنان دبابيس من الضوء، ولا يستطيع التكبير مهما بلغ مقداره أن يجعلها تبدو أكبر.

ولذلك فإن التلسكوب الذي يستخدم لمشاهدة النجوم لا يحاول تكبير صورها، وإنما يحاول جعلها أكثر لمعانًا فحسب، ويتوقف لمعان الصورة على مقدار ضوء النجوم الذي يلتقطه التلسكوب ويركزه، ويتوقف هذا بدوره على حجم الشيئية، وهذا هو السبب في أن الاتجاه في صنع التلسكوبات يهدف دائمًا إلى جعلها ذات عدسات شيئية أكبر

فأكبر، وأعظم التلسكوبات الكاسرة في العالم ذو شيئية يبلغ اتساعها ٤٠ بوصة، وهو المستعمل في مرصد «بركز» بالولايات المتحدة.

ومن الممكن أن تحل المرآة الكرية محل العدسة المحرقة، ولقد قام المكتب القومي للمعايير في واشنجتن «إقليم كولومبيا» ببناء فرن شمسي من مرآة كرية قطرها خمسة أقدام، وكانت هذه المرآة مستعملة من قبل كعاكس لأحد الأنوار الكاشفة بالجيش، وتلتقط المرآة أشعة الشمس ثم تسلطها على بقعة يبلغ اتساعها ربع بوصة فترتفع درجة الحرارة في هذه البقعة إلى ٦٣٠٠ درجة فهرنهيت، ويستخدم هذا الفرن لاختبار الفلزات وبعض المواد الأخرى وذلك لدراسة سلوكها في درجات الحرارة العالية.

تفريق الألوان:

والمنشور بجانب كونه ثانيًا للضوء فإنه مفرق له أيضًا، والضوء الأبيض العادى عبارة عن مزيج من ألوان كثيرة، فإذا مرت حزمة رفيعة من الضوء الأبيض خلال منشور، فإنها تخرج منه في شكل حزمة أكثر اتساعًا توجد الألوان فيها منفصلة ويقع بعضها إلى جانب بعض.

وانفصال الألوان هذا نتيجة لانثناء الضوء، إذ أن المنشور يثني جميع أشعة الضوء نحو قاعدته، بيد أنه يثني بعض الألوان أكثر من البعض الآخر، فتخرج هذه الألوان وهي تسير في اتجاهات مختلفة على الرغم من أنها كانت تسير في نفس الاتجاه عندما دخلت المنشور، وتسمى مجموعة الألوان المتفرقة «الطيف».

جعل النور ظلامًا:

لما كان الضوء تموجيًا في طبيعته، فقد يحدث أحيانًا أن ينتج ظلام من إضافة ضوء إلى ضوء، فحينما تلتقى موجتان من الضوء بنفس اللون، فقد تلتقي قمة إحدى الموجتين بقمة الأخرى، وعندئذ يكونان قمة أكبر يزداد فيها الضوء لمعانًا، أما إذا التقت قمة إحدى الموجتين بقاع الأخرى، فإن كلا منهما تتعادل مع الأخرى، ويبدو كأن الضوء قد انعدم، ويكون مكان تقاطعهما مظلمًا، وحينما يحدث ذلك نقول إن الموجتين قد تداخلتا الواحدة في الأخرى، وثمة آلة خاصة تعرف بمحزوز الحيود تستفيد من هذا التدخل، وبذلك تمدنا بوسيلة أخرى لفصل الضوء الأبيض إلى ألوانه.

والمحزوز النموذجي عبارة عن قطعة مستوية من الزجاج عرضها ٦ بوصات ومغطاة بطبقة رقيقة من الألومنيوم حززت عليها سلسلة من الخطوط المتوازية، ويبلغ سمك طبقة الألمنيوم جزءًا من عشرة آلاف من البوصة، كما أن الخطوط متقاربة جدًا بعضها من بعض حتى أن البوصة الواحدة تشتمل على ١٤٤٠٠ خط، فإذا سقط ضوء ذو لون واحد على المحزوز فإنه ينفذ خلال المحزوز، وحينما يخرج الضوء من حز على الجانب الآخر للمحزوز فإنه يسير مبتعدًا في جميع الاتجاهات.

وتتقاطع الموجات الخارجة من الحزوز بعضها مع بعض عدة مرات أثناء ابتعادها عن المحزوز، وقد تتلاقى القمم مع قمم أخرى في بعض الاتجاهات فيقوى الضوء، وقد تتلاقى القمم مع قيعان في اتجاهات أخرى

فيختفي الضوء، ونتيجة لذلك فإن الضوء النافذ من المحزوز يتفرق إلى عدة حزم رفيعة تفصلها مسافات واسعة مظلمة، ويتوقف اتجاه هذه الحزم على لون الضوء، وهكذا، فإنه عندما ينفذ ضوء مخلوط من عدة ألوان خلال محزوز فإن الألوان المختلفة تخرج منه في اتجاهات مختلفة، وتقع جنبًا إلى جنب مكونة عدة أطياف منفصلة، ولكي ترى كيف يتكون مثل هذا الطيف بالتداخل، خذ قرص فونوغراف استُعمل مدة طويلة وانظر خلاله وأنت ممسك به في الضوء، فهذه الحزوز التي في القرص تجعل منه محزوز حيود تقريبيًا بالنسبة للضوء الذي يعكسه، فإذا أملت القرص حصلت على ومضات ملونة تنبعث على زوايا مختلفة.

وييسر محزوز الحيود لنا قياس طول موجة كل لون من ألوان الضوء على حدة، ويمكن التعرف على سبب ذلك من الرسم التخطيطي المبين بعد ذلك، وتمثل الفتحات التي بالرسم الخطوط الموجودة على المحزوز، بينما تمثل الأسهم السفلى أشعة الضوء الداخلة في المحزوز، أما الدوائر فتمثل قمم الأمواج المبتعدة عن كل حز، والبعد بين دائرتين متتاليتين منها حول كل حز عبارة عن طول موجة الضوء، وتشير الأسهم العليا إلى اتجاه إحدى الحزم النافذة، ويتوقف مقدار الزاوية التي تصنعها الأسهم مع المحزوز على طول الموجات ومقدار المسافات بين الحزوز، فإذا قيست الزاوية وكانت المسافة بين حزين متتاليين معلومة أمكن حساب طول الموجات.

وقد دلت القياسات التي أجريت بواسطة محزوز على أن موجات الضوء البنفسجي بدرجة من الصغر بحيث تتسع البوصة الواحدة لأكثر من ٦٠٠٠٠ منها.

وحينما يحلل الضوء بوساطة محزوز حيود فإنه يمر أولًا خلال قصبة مجمعة «كليماتر» فيدخل الضوء القصبة من خلال فتحة ويخرج منها في شكل مروحة إلى أنبوبة يوجد في طرفها الآخر عدسة تثني الأشعة بحيث تجعلها تسير في خطوط متوازية عند اقترابها نحو المحزوز، وبعد نفاذ الأشعة من المحزوز تشاهد من خلال تلسكوب، وتسمى المجموعة المؤلفة من المحزوز والقصبة المجمعة والتلسكوب «السبكترومتر»، وتصنع بعض المحزوزات من مرايا كرية تعكس الضوء بدلًا من مروره فيها، إذ تسلط المرآة الأشعة المنعكسة على لوح فوتوغرافي يسجل صورة للطيف.

آلات تسطير:

يتوقف عمل محزوز الحيود على ما به من حزوز على مسافات متساوية ومتقاربة جدًا، بعضها من بعض، ورسم هذه الحزوز عمل شاق جدًا، ومعظم محزوزات الحيود التي يستخدمها الباحثون العلميون رسمت في جامعة جونس هوبكنز بوساطة ثلاث آلات تسطير صممت تصميمًا خاصًا، وترسم هذه الحزوز بوساطة ماسة تدفع بعربة متحركة في مجارٍ معينة، وبعد رسم كل حز ترفع الماسة ويعاد حملها إلى نقطة الابتداء، وأثناء ذلك يغير وضع الطوار المحمول عليه المحزوز قليلًا، وذلك بإدارة

مسمار محوي، ويتوقف نوع المحزوزات بصفة أساسية على الدقة التي يعمل بها هذا المسمار وعلى الطريقة المركب بها، وعند تشغيل الآلة يصبح من الضروري القضاء باستمرار على مثيرات المتاعب، كالاحتكاك والإجهاد والغبار والتغير في درجة الحرارة والاهتزازات، وقد يتلف المحزوز إذا وجدت أشجار بمقربة من المبنى تتمايل كثيرًا مع الريح، ويستلزم صنع محزوز واحد أن تعمل الآلة ستة أيام لترسم ما طوله ثلاثة أميال من الحزوز، وقد ابتكر جون ستروبح أخيرًا آلة تسطير محسنة، وفي هذه الآلة حينما يراد رسم حز فإن الماسة تكون ثابتة تماما بينما يتحرك المحزوز، ولذلك فإن هذه الآلة أسرع مرتين من الآلات التي سبقتها وتستطيع أن تسطر ٢٨٨٠٠ سطر في البوصة الواحدة.

قياس عرض نـجم:

لما كان نجم يبدو كنقطة من الضوء لا يمكن تكبيرها بالاستعانة بتلسكوب، فإن الاتساع الظاهري لنجم لا يمكن الاستدلال به على عرضه، وعلى الرغم من هذه الحقيقة فقد أمكن قياس عرض بعض النجوم بوساطة أداة تسمى «مقياس التداخل النجمي»، وهذه الأداة كمحزوز الحيود، تستفيد من أن انضمام أشعة الضوء بعضها إلى بعض قد يولد ظلامًا، وإليك كيفية عملها: يلتقط ضوء نجم بوساطة العدسة الشيئية لتلسكوب، ثم يثنى نحو بؤرها، إلا أن سطح الشيئية لا يستعمل بأجمعه في هذه الحالة، وإنما يقم فيما عدا ثغرتين صغيرتين على جانبين متناظرين منها، وهاتان الثغرتان تقومان بعمل الحزوز في المحزوز، وعند

تقاطع الموجات الضوئية النافذة منهما عند البؤرة قد تتلاقى قمة موجة بقمة موجة أخرى في بعض الأوضاع فتقوي الواحدة الأخرى، وفي بعض الأوضاع الأخرى قد تتلاقى قمة موجة بقاع أخرى فتتلاشى الواحدة في الأخرى، ونتيجة لذلك فإن صورة النجم المتكونة في البؤرة تكون مؤلفة من حزم ضوئية تفصلها خطوط مظلمة، ويأتي عندئذ دور عامل آخر، إذ يمكن تصور وجه النجم الصادر منه الضوء كأنه مكون من نصفين، ولما كان كل نصف منهما يسلك كما لو كان منبعًا مستقلًا للضوء، فإن كل نصف يحدث صورته الخاصة تقطعها سلسلة من الخطوط المظلمة، ومن المستطاع إبعاد هاتين الصورتين أو ضمهما الواحدة إلى الأخرى بمجرد تغيير المسافة بين الثغرتين الموجودتين على العدسة، ثم تضبط المسافة بحيث تتعشق الصورتان وتقع الحزم المضيئة في كل صورة فوق الخطوط المظلمة في الأخرى، وبذلك تختفي الخطوط المظلمة، وحينما يحدث ذلك ويكون بعد النجم معلومًا، فإن عرضه يمكن حسابه من طول المسافة بين ثغرتي العدسة.

قياس اللمعان:

كلما بعد نجم عنا قل الضوء الذي نتلقاه منه، وعلى ذلك فإن مقدار هذا الضوء هو مفتاح لمعرفة بعده عنا، لذلك كان من الأهمية بمكان لدى الفلكيين قياس كمية ضوء النجم بعناية فائقة، وهناك طرق فائقة لذلك، وفي إحدى هذه الطرق يقارن ضوء النجم بمصدر ضوء في المعمل يمكن قياس لمعانه، وذلك بتغشية ضوء المعمل حتى يبدو في غشاوة ضوء النجم

تمامًا، وعندئذ يكون في قياس ضياء ضوء المعمل مقياس لضياء النجم، وفي طريقة أخرى يلتقط ضوء النجم بوساطة سلك يمر فيه تيار كهربي، ولما كان الضوء يؤثر في مقاومة السلك فإن شدة التيار تتغير أيضًا، ويمكن عندئذ حساب لمعان النجم من مقدار التغير في التيار، وفي طريقة ثالثة تستخدم الخلية الكهروضوئية، وسيرد وصفها في الباب التالي، وفي طريقة رابعة يستخدم الفلكي إحدى أدواته ذات الاستعمالات المتعددة، وهي الأداة التي تجمع بين التلسكوب والكاميرا، فيلتقط التلسكوب الضوء ويركزه ملقيًا بصورة النجم على لوح فوتوغرافي، وعند إظهار اللوح المعروض نجد عليه بقعة مظلمة تبين موضع هبوط ضوء النجم، وكلما كان ضوء النجم أكثر لمعانًا كانت البقعة أكبر اتساعًا وأشد ظلمة، وعلى ذلك فإن لمعان نجم يمكن حسابه من البقعة التي يكونها على لوح فوتوغرافي، وتعتبر الصور الفوتوغرافية للسماء بمثابة كنوز ذهبية من المعرفة، فإلى جانب أنها تدلنا على لمعان الضوء الذي يأتي إلينا من النجوم، فإنها تمدنا بمفاتيح عن مواضع النجوم وحركاتها.

الضوء غير المنظور:

نستطيع أن ننفذ ببصرنا إلى داخل جسم شفاف بالاستعانة بالضوء الذي يمر خلاله، بيد أن هنالك أجسامًا كثيرة كالخشب والفلزات واللحوم تعوق سير الضوء، وعلى الرغم من هذه الحقيقة فإننا نستطيع أن نبصر خلالها باستخدام أشعة أشد من الضوء تستطيع أن تنفذ خلالها.

وتعرف هذه الأشعة باسم أشعة أكس «X» أو الأشعة السينية، وهي تتبع نفس العائلة التي يتبعها الضوء، ولكن طول موجتها أقصر من طول موجة الضوء المنظور، ونحن لا نستطيع أن نراها بأعيننا، ولكننا نستطيع أن نكشف عنها من تأثيرها في مستحلب فوتوغرافي، وتبين لنا صور الأشعة السينية المأخوذة بوساطة أشعة نفذت خلال جسم صلب كيفية انعكاس هذه الأشعة أو انثنائها خلال الجسم، وهذه المعرفة تمدنا بمفاتيح عن طبيعة الأجزاء التي في داخل هذا الجسم وكيفية ترتيبها.

فقد يستخدم الطبيب صورة مأخوذة بوساطة الأشعة السينية ليتبين ما إذا كانت رئة ما سليمة، وقد يستخدم الفيزيائي الصورة المأخوذة بوساطة الأشعة السينية ليتبين ترتيب الذرات داخل بلورة.

الأمواج التي تسري في الأرض:

وقد صار من الميسور لنا أن ننفذ ببصرنا حتى إلى باطن الأرض ونستبين ما بداخلها، ونحن لا نستطيع أن نفعل ذلك بوساطة الضوء المرئي، حتى ولو بالأشعة السينية، ولكننا نستطيع أن نحقق ذلك بوساطة نوع آخر من الموجات ذي قدرة على السير مسافات بعيدة في باطن الأرض، وهذه الأمواج التي تستطيع أن تنفذ مباشرة إلى الأرض إنما هي أمواج الهزات التي تنشأ عند حدوث زلزال ما، إذ تبدأ الصخور الأرضية في الاهتزاز، وتوصل كل صخرة اهتزت الهزة إلى ما يجاورها من الصخور، وتختلف أمواج الزلازل اختلافًا بيّنًا عن أمواج الضوء، ولكنهما يشتركان في

بعض المظاهر، فأمواج الزلازل يمكن أن تعكسها السطوح الصخرية كما لو كانت بمثابة مرآة لها، ويمكن ثنيها أيضًا، وحينما يحدث زلزال ما فإن الهزات تنتقل من مصدره وتبتعد عنه في جميع الاتجاهات على هيئة موجات، ويكون انتقالها بسرعات مختلفة في أنواع الصخور المختلفة، كما أنها تنثني عندما تنتقل من نوع من الصخور إلى نوع آخر، وحينما يتلقى الجيولوجيون هذه الهزات في مواقع مختلفة على سطح الأرض ثم يقيسون شدتها وطول الفترة التي استغرقتها الموجات في الوصول إلى كل موقع، فإنهم يحصلون بذلك على مفاتيح لما يمكن أن يكون عليه باطن الأرض.

وتسمى الآلة المستخدمة لالتقاط موجات الزلازل «السيمسوجراف»، ويقوم عملها على نفس القاعدة التي تقوم عليها اللعبة الشائعة المعروفة بـ«حيلة الصالونات»، فإذا وضعت قطعة من الورق فوق كأس زجاجية ثم وضعت فوق البطاقة قطعة من النقود أمكنك رفع البطاقة ووضع قطعة النقود في الكأس دون أن تلمس قطعة النقود، اضرب حافة البطاقة بإصبعك تجد أن البطاقة قد طارت بعيدًا بينما سقطت قطعة النقود من نفسها إلى الكأس، وتعليل ما حدث هو أنه حينما دفعت البطاقة دفعًا فجائيًا عند ضربك إياها، فإن قطعة النقود تجنح إلى البقاء حيث هي دون أن تتحرك مع البطاقة بعيدًا، وفي السيسموجراف يعلق ثقل كبير، يعرف بالبندول الأفقي، بوساطة سلك من قائم رأسي مرتكز على الأرض، فإذا مرت موجة زلزال فإنها تجعل الأرض تتحرك، ولكن البندول، كقطعة النقود في اللعبة، يجنح إلى البقاء حيث هو، وتنعكس من مرآة مثبتة على البندول حزمة من الضوء منتظمة

إلى شريط فوتوغرافي موضوع على أسطوانة دوارة، وحينما تهتز الأرض تهتز الأسطوانة معها بينما الضوء المنتظم واقع عليها، فيرسم الضوء مسارًا معوجًا عليها.

وقد دلت تحركات الموجات الزلزالية التي تسري في الأرض على أنه يوجد في مركز الأرض لب سائل يثني هذه الموجات كما تثني العدسة الضوء، كما دلت أيضًا على أن الجزء الصلب من الأرض يتركب من جزءين: القشرة عند السطح والغلاف بين القشرة واللب.

الباب السابع
حيز فارغ تقريبًا

مكان رحب لجسيمات صغيرة:

يتناول هذا الباب بالوصف بعض أدوات العلم الحديثة كأنبوبة الأشعة السينية وأنبوبة الراديو والخلية الكهروضوئية ومحطم الذرة المسمى «السينكروترون»،

وتشترك جميع هذه الآلات في صفة واحدة هامة، وهي أنها أنابيب مفرغة، فكل منها عبارة عن إناء مقفل سحب منه معظم الهواء الذي يملؤه، ونتيجة لذلك فإن ما يحدث في هذه الأنابيب إنما يحدث في فراغ تام تقريبًا.

وتحتاج هذه الآلات إلى فراغ نظرًا لطبيعة العمل الذي تقوم به، فكل منها يستخدم لتحريك بعض الجسيمات الدقيقة التي تتألف منها الذرات.

ويزال الهواء من الأنبوبة لكيلا تعترض جزئيات الهواء طريق تلك الجسيمات، فإذا تحرك جسيم خلال الهواء العادي فإنه يكون محوطًا بكثرة زائدة من الجزيئات حتى أنه لا يسير بضعة أجزاء من المليون من البوصة إلا ويلقى اصطدامًا، ولكن إذا لم يبق إلا جزيء واحد من الهواء من كل مليون جزيء فإن الجسيم المتحرك سيجد مكانًا رحيبًا يجول فيه، وعندئد قد يسير نحو بوصتين دون أن يلقى اصطدامًا، وفي الفراغ الأكثر اكتمالًا

وهو الفراغ الذي لا يبقى فيه إلا جزيء واحد من كل مليون مليون جزيء، فإن الجسم يقطع عدة أميال قبل أن يصادف اصطدامًا.

أحداث غريبة في أنبوبة:

تعتبر أنبوبة كروكس سلفًا لكثير من أنابيب التفريغ الحديثة، وقد استخدمها الفيزيائي الإنجليزي السير وليم كروكس حوالي عام ١٨٧٥ لدراسة التفريغات الكهربية، ويوجد في هذه الأنبوبة موصلان كهربيان كل منهما في طرف من طرفي الأنبوبة تفصلهما ثغرة من الهواء، وعندما يوصلان بمصدر ذي ضغط كهربي عالٍ فإن هذا الضغط يحدث تفريغًا كهربيًا عند الثغرة، وقد لوحظ أنه طالما كان بالأنبوبة هواء فإن التفريغ يتخذ شكل شرارة متعرجة أشبه بومضة البرق، أما عندما أزيل معظم الهواء من الأنبوبة فإن أشياءً غريبة أخذت تحدث، إذ اختفى الشرر وبدأ حيز الأنبوبة في التوهج، وحتى زجاج الأنبوبة أخذ في التألق بعد ذلك، ولو ركبت في الأنبوبة عجلة صغيرة على شكل طاحونة الهواء فإنها تبدأ في الدوران كأن ريحًا تهب في الأنبوبة، ولم يكن سبب كل هذه الأحداث الغريبة إلا فيضًا غير مرئي ينساب من أحد طرفي الأنبوبة إلى طرفها الآخر، ولما كان هذا الفيض صادرًا من الموصل ذي الشحنة السالبة والمعروف باسم «المهبط»، فقد أطلق على هذا الفيض اسم «شعاع المهبط»، ونحن نعلم الآن أن شعاع المهبط ليس إلا فيضًا من الإلكترونات ينساب عبر الثغرة، ومثل هذا الفيض نستخدمه اليوم في أنابيب الأشعة السينية وأنابيب الصور التليفزيونية.

الأشعة السينية:

صنع الفيزيائي الألماني، ولهلم رونتجن، أول أنبوبة للأشعة السينية وذلك بإدخال تعديل طفيف في أنبوبة كروكس، إذ وضع في الثغر الموجودة بين طرفي الأنبوبة هدفًا فلزيًا، وعندما انساب شعاع المهبط عبر الثغرة اصطدم تيار الإلكترونات بالهدف، ولما كان الهدف نفسه مفعمًا بالإلكترونات، كل في موضعه الخاص من الطبقات الإلكترونية التي تحيط بكل نواة ذرية، فإن بعض هذه الإلكترونات ينسلخ من مكانه نتيجة للاصطدام، وعندما تعود هذه الإلكترونات أدراجها فإنها تحرك طاقة في هئة موجات أشعة سينية، وتشبه هذه الموجات موجات الضوء ولكنها ذات طول موجي أقصر، وقد سبق ذكر بعض فوائد الأشعة السينية في الباب السابق.

إلكترونات تنبعث من سلك ساخن:

نشأت بعض أنابيب التفريغ الحديثة نتيجة اكتشاف قام به المخترع الأمريكي توماس إديسون، إذ اخترع مصابح الضوء الكهربي، وفي هذا المصباح يسخن التيار الكهربي سلكًا بدرجة كافية حتى يتوهج، وهذا السلك محصور في فراغ تفاديًا لاحتراقه في الهواء، وقد وجد إديسون أنه حينما يكون السلك ساخنًا فإن الإلكترونات تنز منه وتنساب إلى الفراغ في الاتجاه المضاد، كل ذلك في إيقاع منتظم، ويتوقف هذا الإيقاع على سعة المكثف وشكله وعلى المادة المصنوع منها، وإذا فرغ المكثف عن

طريق ملف فإن الملف يعمل على تنظيم الإيقاع الذي يسري به التيار إيابًا وذهابًا.

وحينما يسري التيار في السلك فإنه يجعله ساخنًا، ومعنى هذا أن جزءًا من طاقة حركة الإلكترونات يتحول إلى حرارة، ونتيجة لذلك فإن التيار في سريانه إيابًا وذهابًا يضعف رويدًا رويدًا ثم يتلاشى في النهاية، ويمكن التغلب على ضعف التيار بإكسابه سلسلة من الدفعات المتوافقة مع إيقاع التيار نفسه، ويتحقق ذلك بالاستعانة بصمام الراديو.

فإذا غذيت شبكة الصمام بالتيار المتبدل أمكنه إحداث سريان شديد للإلكترونات من الفتيلة إلى اللوح، ويبدأ هذا السريان ويتوقف مع نفس إيقاع التيار الذي يسري إلى الشبكة، ويمكن استخدامه لتقويته، وهكذا فإن مجموعة من المكثفات والملفات وصمامات الراديو منسقة تنسيقًا صحيحًا ومزودة بالقوة اللازمة يمكن استخدامها للاحتفاظ بشدة تيار متبدل.

وكلما بدأت الإلكترونات تتحرك فإن ذلك يعني أن ثمة قوة كهربية تدفعها، وحينما تتحرك الإلكترونات إيابًا وذهابًا فإن ذلك يعني أن اتجاه هذه الدفعات في تغير مستمر، ولذلك يمكن التعبير بطريقة أخرى عن عمل مجموعة المكثف والملف والصمام، وذلك بقولنا إنها تولد مجال قوة كهربية متبدل وتنظمه.

موجات الراديو:
حينما يتحرك تيار كهربي إيابًا وذهابًا فإن القوى الكهربية التي تكتنف الشحنات المتحركة تتحرك معها، وتكتنف التيار قوى مغناطيسية، فإذا ما تغير التيار فإن هذه القوى المغناطيسية تتحرك أيضًا، ونتيجة لذلك فإن التيار المتبدل يُحدث اضطرابًا في الفضاء، ويمكن مقارنة هذا التأثير بما يحدث لحبل مثبت طرفه في حائط عندما يحرك طرفه الآخر بسرعة خلفًا وأمامًا، وهذه الحركة الأمامية الخلفية لطرف الحبل الخالص تولد اضطرابًا ينتقل على طول الحبل في صورة موجة، وعلى هذا المنوال فإن حركة التيار الكهربي في اتجاه ثم حركته في الاتجاه المضاد تولد اضطرابًا كهرومغناطيسيًا ينتقل عبر الفضاء في صورة موجة، والموجات التي من هذا النمط ترسلها أجهزة إرسال الراديو حاملة برامج الإذاعة إلى هوائي جهاز الاستقبال، وعندما تصطدم بالهوائي فإنها تبدأ تيارًا ضعيفًا يسري إيابًا وذهابًا في توافق مع إيقاع الموجة، ومن هذا التيار الضعيف يولّد جهاز الراديو، باستخدام مجموعة من المكثفات والملفات والصمامات، تيارًا قويًا له نفس الإيقاع ثم يستخدمه لتشغيل مكبر الصوت الذي يحول الإشارات الكهربية إلى صوت.

على أن موجات الراديو لا تنبعث كلها من أجهزة إرسال الراديو التي من صنع الإنسان، ففي عام ١٩٣٢ اكتشف كارل جانسكي، مهندس التليفونات، أن ثمة موجات راديو تصل إلى الأرض من الفضاء الخارجى، وبعض هذه الموجات يأتي من الشمس والنجوم بينما يأتي البعض الآخر من ذرات الهيدروجين المعبثرة في الفضاء، ولقد كان هذا

الكشف فتحًا لفرع جديد من فروع العلم، ونعني فلك الراديو، ويلتقط فلكي الراديو موجات الراديو التي تأتي من الفضاء ويحللها ليحصل على معلومات عن الأشياء التي تبعثها، وهو يستخدِم لالتقاط موجات الراديو نوعًا جديدًا من التلسكوب هو في الواقع عبارة عن هوائي ضخم متصل بجهاز استقبال خالص للراديو، وتصنع تلسكوبات الراديو على أشكال مختلفة كثيرة، بعضها على شكل وعاء كبير، وبعضها عبارة عن صفوف طويلة من زنبركات ملفوفة، وتلسكوبات الراديو أقدر على الرؤية على مسافات بعيدة في الفضاء من التلسكوبات العادية التي تتلقى الضوء المرئي، وهي تستطيع أيضًا الرؤية خلال سحب الغبار، ولذلك فإنها تستطيع معاونتنا على استطلاع أجزاء الكون التي كانت محجوبة في العادة عن رؤيتنا.

العقول الإلكترونية:

إن رجل العلم دءوب على السؤال والاستفسار، ويحصل أحيانًا على إجابات لأسئلته عن طريق حصوله أثناء تجاربه على معلومات جديدة عن العالم، وأحيانًا أخرى يحصل على إجاباته بإجراء عمليات حسابية من المعلومات التي سبق أن حصل عليها، ولإجراء هذه العمليات الحسابية يجب أن يكون على علم بكيفية إجرائها، ولكن علمه بكيفية إجرائها ليس كافيًا دائمًا، فقد تصادف في أزمنة مضت أن عرف العلماء ما يجب عمله بالضبط لحل مسألة ما، ولكنهم لم يستطيعوا حلها لأن العمليات الحسابية تستغرق وقتًا كثيرًا، أما الآن فإنهم يستطيعون حل مسائل كثيرة

كهذه بالاستعانة بـ«الآلات المفكرة» الإلكترونية التي تعجل كثيرًا عملية الحساب، إذ تستطيع الآلة الإلكترونية الحاسبة أن تؤدي في بضع ثوانٍ ما قد يستغرق فيه سنوات عدة عالم الرياضيات الماهر.

وتصنع العقول الإلكترونية من مجموعات معقدة من صمامات الراديو والمكثفات والملفات، وهي تشتغل بسرعة، ولكن لا عن حذق، بل لمجرد اتباعها التعليمات، إذ أن هذه «الآلات المفكرة» في الواقع لا تفكر على الإطلاق، ثم إنها في حقيقة الأمر لا تستطيع تأدية أشياء كثيرة، فهي تستطيع وصل التيارات الكهربية أو قطعها، وتستطيع أن تحصي المرات التي وصل فيها التيار، على أن قدرتها على الإحصاء لا تعني أن لها مقدرة رياضية خارقة، وإنما هي ذات قدرة كافية لحل مسائل كثيرة، فجميع المسائل الرياضية المعقدة يمكن تبسيطها إلى سلسلة من الخطوات لا تستلزم إلا عمليات إحصاء متكررة مرة بعد أخرى.

ولقد كان المأخذ في الماضي أن سلسلة كهذه كانت تحتوي على خطوات كثيرة بدرجة لا يتوفر لدينا الوقت لإجرائها، ولكن هذه العقبة تزول أمام الآلة الإلكترونية الحاسبة لأنها تعمل بسرعة التيار الكهربي الذي يسري بسرعة كسرعة الضوء تقريبًا.

أنابيب الصور:

في أنبوبة كروكس يحدث شعاع الإلكترونات عند سقوطه على جدارها

تألقًا في الزجاج، وفي صمام الراديو يتولد تيار من الإلكترونات نتيجة للتزيز من فتيلة ساخنة، ويحكم اللوح والشبكة حركة هذا التيار.

وتأتلف هذه الظواهر في أنبوبة الصور التليفزيونية كي تكون صورة على ستار، ففي أحد طرفي الأنبوبة يسخن مهبط كي تتز منه الإلكترونات إلى الحيز المحيط به، وثمة شبكة سالبة الشحنة تحيط بالمهبط فتدفع الشحنة التي على الشبكة الإلكترونات بعيدة عن المهبط وتجبرها على النفاذ من خلال ثقب في الشبكة، وإذ تدفع الشبكة الإلكترونات من الخلف تجذبها في نفس الوقت إلى الأمام مصاعد الأنبوبة التي تحمل شحنة موجبة، أما في طرف الأنبوبة المقابل فيوجد ستار خارجي مغطى بطبقة من الفصفر، وهي مادة من خصائصها أنها تتألق عند سقوط الإلكترونات عليها، فحين يسقط تيار من الإلكترونات على الفصفر تظهر بقعة مضيئة، ويمر شعاع الإلكترونات وهو ينساب عبر الأنبوبة بين مجموعتين من ألواح انحرافية تحمل شحنات كهربية متغيرة، فتجذب هذه الشحنات الإلكترونات أؤ تدفعها، وبينما تجعل إحدى المجموعتين الشعاع الإلكتروني يتحرك أعلى وأسفل تجعله المجموعة الأخرى يتحرك خلفًا وأمامًا، وفي بعض الأنابيب يحرك التيار بوساطة مغناطيس كهربي بدلًا من ألواح مشحونة وتستمر الإلكترونات متساقطة على أجزاء مختلفة من الستار، وبدلا من تكوينها بقعة مضيئة واحدة فإنها تكون سلسلة من البقع المضيئة التي تتحرك بسرعة عبر الستار، وأثناء ذلك تتغير شدة الشعاع، ويحدث نتيجة لذلك أن يكون بعض البقع أشد استضاءة من

البعض الآخر، وهذه البقع المضيئة لا تتلاشى في الحال، ولكنها تمكث هنيهة وتأتلف مكونة صورة على الستار.

وتستخدم أيضًا أنبوبة الصور والدوائر الكهربية التي تحكم عملها في جهاز هام جدًا يعرف بمقياس تذبذب أشعة المهبط أو «أسيلوسكوب أشعة المهبط»، ويساعد هذا الجهاز العلماء على تتبع الأقيسة السريعة التغير، فتتحول هذه الأقيسة إلى تيارات كهربية ثم تستخدم هذه التيارات لدفع الشعاع الإلكتروني في أنبوبة الصور إلى أعلى وأسفل في نفس الوقت الذي يتحرك فيه خلفًا وأمامًا عبر الستار، ونتيجة لذلك تكون البقع المتألقة على الستار خطًا متموجًا، ويكون شكل هذا الخط بمثابة صورة للأقيسة المتغيرة التي يقوم رجال العلم بدراستها.

العين الكهربية:

حينما يسقط إلكترون في ذرة ما من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى أقل، فإنه يبعث إلى الخارج بفوتون، وهو عبارة عن حزيمة صغيرة من الضوء، ويمكن أن تنعكس هذه العملية، فحينما يصدم فوتون إلكترونًا فإنه يدفع به من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى أعلى، وعندما تكون الصدمة قوية بدرجة كافية، فإنها تستطيع أن تنتزع الإلكترون من الذرة انتزاعًا تامًا، وينبني عمل الخلية الكهروضوئية على هذه الحقيقة، وهذه الخلية إنما هي عين كهربية لرؤية الضوء وقياسه، وهي عبارة عن أنبوبة تفريغ يوجد فيها مجال كهربي بين المهبط والمصعد، وعندما يسقط الضوء على المهبط تنتزع

الفوتونات الإلكترونات منه، وكلما ازدادات كمية الضوء الساقط على المهبط ازداد عدد الإلكترونات المنتزعة، وحينئذ يدفع المجال الكهربي الموجود في الأنبوبة الإلكترونات من المهبط إلى المصعد، وبذلك ينساب تيار كهربي في الأنبوبة، وتكون شدة التيار بمثابة مقياس لكمية الضوء التي تسقط على المهبط.

ولقياس الكميات الضئيلة جدًا من الضوء تستخدم خلية حساسة جدًا تعرف باسم «المضاعف الضوئي»، وفي هذا النوع من الخلايا توجد سلسلة من السطوح بين المهبط والمصعد، ويدفع المجال الكهربي الإلكترونات المنسلخة من المهبط فتصطدم بأقرب هذه السطوح إليها منتزعة منها عددًا من الإلكترونات أكبر، ثم تدفع هذه الإلكترونات بدورها إلى السطح التالي فتنتزع منها إلكترونات أكثر، حتى إذا وصل تيار الإلكترونات إلى المصعد يكون قد تحول إلى تبلور أقوى بمليون مرة من الفيض الإلكتروني الصادر أصلًا من المهبط، وأنبوبة المضاعف الضوئي مفيدة جدًا للفلكيين إذ يستخدمونها في قياس الضوء الضعيف الصادر من نجم ما، وهي تساعد بوجه خاص على دراسة النجوم ذات الضوء المتغير، فإذا كانت كمية الضوء الصادرة من نجم ما تتغير بأقل من ٢٥ في المائة فإن العين المجردة لا تستطيع إدراك هذا التغير، ولكن أنبوبة المضاعف الضوئي تستطيع إدراك وقياس التغيرات، التي قد تصل إلى أقل من ٥ في المائة.

وضوء النجم، كضوء الشمس، عبارة عن مزيج من ألوان كثيرة، ويستطيع الفلكي باستخدام مرشح ضوئي أن ينتقي من ضوء النجم لونًا واحدًا كل مرة ويدخله إلى المضاعف الضوئي لقياس شدته على حدة، وبمقارنة شدة الألوان المختلفة التي يتألف منها الضوء يستطيع أن يعين درجة حرارة النجم، ويساعد قياس شدة الألوان في ضوء نجم على معرفة وزنه وحساب مقدار الغبار الموجود في الفضاء الذي عبره الضوء.

التصوير الإلكتروني:

وتستخدم الآن نظرية الخلية الضوئية في تحسين طريقة تصوير النجوم، فعندما يسقط الضوء على مستحلب فوتوغرافي فإن حبيبة واحدة تتأثر بمعدل كل ألف فوتون في الضوء، وعندما يسقط الضوء على مهبط خلية ضوئية فإن إلكترونًا واحدًا ينسلخ بمعدل كل عشرة فوتونات، ومن شأن هذا أن يجعل المهبط بوصفه كاشفًا للضوء أكثر كفاءة من اللوح الفوتوغرافي بمقدار مائة مرة، ولذلك فإنه من المستحسن جعل الضوء يسقط على المهبط حيث تنسلخ منه الإلكترونات، ثم تستخدم هذه الإلكترونات في أخذ صورة فوتوغرافية بدلا من الضوء، وتعرف الآلة التي تقوم بهذا العمل باسم محول الصورة، وفيه يثبت المهبط واللوح الفوتوغرافي في غرفتين مفرغتين مستقلتين يفصلهما غشاء رقيق يبلغ سمكه بضعة أجزاء من المليون من البوصة، ويرجع وضع هذا الغشاء إلى وجود غازات تنبعث من اللوح الفوتوغرافي، وهذه الغازات يجب أن تظل بعيدة

عن المهبط لكيلا تفسد عمله ككاشف كهربي، وتدفع الإلكترونات المنسلخة من المهبط بواسطة مجال كهربي وتنفيذ مباشرة خلال الغشاء الرقيق ثم تسقط على اللوح الفوتوغرافي مكونة الصورة.

ويجري العمل الآن لابتكار نوع جديد من آلة التصوير الفوتوغرافي تسقط فيها الإلكترونات على سطح غير موصل بدلًا من لوح فوتوغرافِي، فتشحن السطح بشحنة كهربية، يمكن إدراكها كهربيًا، واستخدامها لإحداث صورة على ستار تليفزيون، وحينما يتم إتقان هذا النوع من آلة التصوير الفوتوغرافي واستخدامه مع التلسكوب «٢٠٠ بوصة» على مونت بالمور فإن المجموعة الناتجة ستعادل في فاعليتها التلسكوب «٢٠٠٠ بوصة» مع استخدام طرق التصوير العادية.

الميكروسكوب الإلكتروني:

يجعل الميكروسكوب الأشياء الصغيرة تبدو كبيرة وذلك بثني الضوء الصادر منها، ولما كان الضوء يتألف من موجات ذات سعة محدودة فإن ذلك يضع حدًا لقوة الميكروسكوب المكبرة، ولا يتسنى بوساطة الميكروسكوب إلا رؤية الأشياء التي تكون أكبر من موجات الضوء المستخدم، على أنه من الممكن رؤية الأشياء الأصغر من ذلك باستخدام أشعة، موجاتها أقصر من موجات الضوء، ويتم ذلك، على سبيل المثال، بوساطة الميكروسكوب الإلكتروني الذي يستخدم أشعة المهبط بدلًا من الضوء.

وشعاع المهبط عبارة عن تيار من الإلكترونات، وكل إلكترون عبارة عن جسيم، ولكن تبين أنه ينتقل كموجة وأن طول موجته أصغر من طول مجة الضوء، وهذه الحقيقة تجعل من الميسور «رؤية» الأشياء بوساطة تيار من الإلكترونات بدلًا من الضوء إذ تمر الإلكترونات خلال الجسم المراد رؤيته على النحو الذي يمر به الضوء خلال جسم شفاف، وينثني الضوء في الميكروسكوب العادي بوساطة العدسات، ويستخدم الميكروسكوب الإلكتروني عدسات أيضًا، ولكن عدساته عبارة عن مغناطيسيات تثني أشعة المهبط بدفع المجالس المغناطيسي الذي يكتنفها، وعندئذ تسقط الأشعة المنثنية على ستار متفلور جاعلة إياه يتألق، ومكونة بذلك صور مرئية يمكن مشاهدهّا خلال عينية، والميكروسكوب الإلكتروني ذو قدرة تكبير مقدارها ٢٠٠٠٠٠ مرة.

محطمات الذرة:

يشغل الفيزيائيون اليوم أنفسهم محاولين تخيل الصورة الداخلية لنواة الذرة، وهم يكتشفون ما بداخل النواة بتهشيمها، وهم يهشمونها بإطلاق «قذائف» عليها ذات سرعة عالية، ولقد وجدوا أن القذيفة الأنسب ما تكون هي البروتوون أو نواة الهيدروجين.

ويشكل البروتون قذيفة جيدة لأسباب عدة: أولًا أن له مقبضًا يمكن أن يُمسك به، وهذا المقبض ليس إلا شحنته الكهربية، ونظرًا لوجود هذه الشحنة فإنه يمكن دفعه بقوى كهربية، كما يمكن توجيهه

بقوى مغناطيسية، وثانيًا لأنه ذو ثقل كافٍ لتحطم النويات التي يصيبها. ويبلغ ثقله في الواقع ٢٠٠٠ مرة قدر ثقل الإلكترون، ولذلك فإن إصابته تكون أقوى من إصابة الإلكترون الذي يسير بنفس السرعة.

معجلات الجسيمات:

ولتهشيم ذرة ما ينبغي إكساب الذرة سرعة عالية جدًا، وتكتسب القذيفة هذه السرعة بوساطة معجلات خاصة لحركة الجسيمات، وأبسط هذه المعجلات هو المعجل الطولي الذي يمكن استخدامه لدفع الإلكترونات أو البروتونات، والمعجل الطولي عبارة عن سلسلة من الأنابيب تفصلها ثغرات، يستحدث في كل ثغرة منها مجال كهربي متغير بوساطة دوائر كهربية تشبه الدوائر الموجودة في الراديو، وهذه المجالات ذات إيقاع منتظم متواقت مع حركة الجسيمات في الأنابيب، ونتيجة لذلك فإن هذه الجسيمات تلج كل ثغرة في الوقت الملائم لاكتسابها دفعة من المجال الكهربي السائد في الثغرة، وهكذا فإن كل دفعة تعمل على ازدياد سرعة الجسيم وبذلك تتزايد سرعته بانتقاله من أنبوبة إلى أخرى، وتقاس الطاقة الناشئة في معجل ما بوحدات تسمى مليون – إلكترون– فولت، على أن المعجل الطولي لا يستطيع إلا توليد بضع مليون – إلكترون– فولت.

وللحصول على طاقات أكبر يستخدم السيكلوترون، وتتكون المسافة التي يتحرك فيها الجسم المشحون في هذا الجهاز من قسمين كل

منهما على شكل الحرف D مفصولين بثغرة، بينما يوجه مجال مغناطيسي الجسم المتحرك فيلف في دائرة، وفي كل مرة يعبر الثغرة يتلقى دفعًا من مجال مغناطيسى متغير، وهذا الدفع يجعله يتحرك أسرع، ويعمل ازدياد السرعة على جعل حركة الجسم لولبية، مما يجعل الدائرة التي يسير فيها أوسع فأوسع المرة بعد الأخرى، ويعرض المسار الطويل عن السرعة المتزايدة، ولذلك فإن الجسم يعود إلى الثغرة ثانية في الوقت المناسب ليتلقى دفعًا جديدًا من المجال المتغير، وهكذا فإنه عندما يكتسب السرعة المنشودة بعد الدوران عدة مرات، يندفع إلى الهدف، وقد تصل طاقات السيكلوترون إلى ٣٠ مليون – إلكترون – فولت، أو ٦ بلايين – إلكترون– فولت، ويشيد الآن معجل أكبر في معمل بروكهافن، وسيولد طاقة مقدارها ٢٠ بليون– إلكترون– فولت.

وقد كان من الضروري، كي نصل إلى طاقة أعلى من ٣٠ مليون إلكترون – فولت، تغيير تصميم المعجلات، ففي السينكروترون يتحرك الجسيم في أنبوبة كعكية الشكل، ويدفع الجسم بوساطة مجال مغناطيسي متغير كما في السيكلوترون، ولكن إيقاع المجال يتغير باستمرار كي يساير سرعة الجسم المتزايدة، ويولد أكبر سينكروترون في الولايات المتحدة طاقة مقدارها ٦٠٠٠ مليون – إلكترون – فولت، أو ٦ بليون – إلكترون– فولت، ويشيد الآن معجل أكبر في معمل بروكهافن وسيولد طاقة مقدارها ٣٠ بليون – إلكترون – فولت.

وهكذا فإننا نجد في معجلات حركة الجسيمات كثيرًا من أدوات العلم الأساسية جمعت معًا في هيئة آلة معقدة جبارة، فالمولدات الكهربية تولد قوة كهربية، والصمامات والمكثفات تعمل في توافق لإحداث إيقاعات المجالات الكهربية والمغناطيسية المتغيرة، والمضخات المفرغة تفرغ الحيز الذي ستتحرك فيه الجسيمات، وتدفع المغناطيسات الكهربية الجسيم وتوجهه على طول رحلته الطويلة إلى الهدف، وأثناء ذلك يقوم منظار الذبذبة الموجود على لوحة المراقبة بإعلام الفيزيائي بصفة مستمرة بما يجري داخل الآلة.

الباب الثامن
كشافات الجسيمات

يشتغل الفيزيائي اليوم بجسيمات دقيقة على درجة من الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها أو الشعور بها، فجزيئات الهواء مثلًا صغيرة جدًا بحيث لو وضع ١٠٠ مليون منها جنبًا إلى جنب لكونت صفًا طوله بوصة واحدة، ولا تزال هناك جسيمات أصغر في كل جزيء،

فإذا أردت أن تكون صفًا طوله بوصة من نويات ذرية لاحتجت إلى ١٢مليونًا منها، وعلى الرغم من هذه الحقيقة فإن لدى الفيزيائي وسائل لمشاهدة جسيم مفرد من هذه الجسيمات، فعنده آلات خاصة يمكنه بها أن يكشف الجسيمات ويعدها، بل ويمكنه أن يميز نوعًا عن آخر من هذه الجسيمات.

ضباب في مخبار:

تحمل الإلكترونات والبروتونات شحنة كهربية، والذرات أو الجزيئات التي فقدت بعض إلكتروناتها أو اكتسبت إلكترونات إضافية تحمل شحنة أيضًا، وهي تعرف باسم الأيونات، وجميع هذه الجسيمات المشحونة كهربيًا يمكن كشفها في غرفة ولسن السحابية. ويستفاد في هذه الغرفة بالطريقة التي يسلكها بخار الماء في الهواء، فالهواء يمكنه أن يتشرب بخار الماء كالإسفنج، ولكن هناك حدًا لكمية بخار الماء التي يمكن أن يحتفظ بها،

فإذا احتفظ الهواء بكل ما يمكنه من بخار الماء نقول إنه مشبع ويتوقف مقدار ما يمكن أن يحتفظ به الهواء على درجة حرارته وضغطه، فالهواء ذو الضغط المنخفض مثلًا لا يمكنه أن يحمل كمية من بخار الماء كالهواء ذي الضغط الأعلى. وإذا كان الهواء مشبعًا وانخفض ضغطه فجأة أصبح به بخار ماء أكثر مما يحتمله، والبخار الزائد يجنح إلى الخروج من الهواء ولكنه يحتاج إلى مكان يحل به، فإذا كان الهواء به غبار فإن البخار يتجمع حول جسيمات الغبار ويصير كل جسيم من الغبار مركزًا لنقطة صغيرة من الماء، وتكون نقط الماء السابحة في الهواء ضبابًا أو سحابًا، أما إذا كان الهواء نقيًا فإن بخار الماء الزائد لا يجد مكانًا يحل به، فيكون الهواء عندئذ فوق المشبع، ومعنى ذلك أنه يحتوي على ماء أكثر من المعدل العادي، ويتكاثف بخار الماء الزائد من الهواء فوق المشبع في أول فرصة تسنح له، وتتأتى عنده الفرصة عندما تدخل أية جسيمات من الغبار في الهواء، وتكون بمثابة مراكز تتكون حولها قطيرات الماء.

والغرفة السحابية عبارة عن مخبار يحتوي على هواء مشبع ببخار الماء، للمخبار مكبس، فإذا سحب المكبس إلى الخارج أفسح المكان للهواء المحبوس فيمتد فيه، فيقل ضغط الهواء ويصير الهواء فوق مشبع، فإذا ما دخلت المخبار إحدى الجسيمات المشحونة كهربيًا اندفعت خلال زحمة جزيئات الهواء واصطدمت بما يصادفها في طريقها من هذه الجزيئات فتطلق إلكترونات من بعضها، ونتيجة لذلك يصبح مسارها منثورًا بالإلكترونات والأيونات، وكلها دقائق مشحونة كهربيًا، وتعمل هذه الدقائق المشحونة عمل الغبار في الهواء، فهي تجذب بخار الماء الزائد في

الهواء، وتقوم مقام مراكز تتكون حولها قطيرات الماء، وبذا يكون مسار الدقيقة التي دخلت المخبار مبينًا بخط من الضباط أو السحاب الذي يمكن رؤيته وأخذ صورة له، ويكون طول المسار وشكله دليلًا لكشف ذاتية الدقيقة.

بدء السيل الجارف:

إن سقوط حجر واحد وتدحرجه على جبل يمكن أن يكون بداية لانهيار جارف، فإن الحجر يبدأ أولًا بإصابة حجر آخر يصادفه فيدفعه معه إلى أسفل المنحدر، ويصبح هناك حجران متدحرجان، فإذا أصاب كل منهما حجرًا آخر أصبحت الحجارة أربعة، وهكذا يزيح كل حجر متحرك حجارة أخرى، وسرعان ما يزداد عدد الحجار المتزلقة زيادة كبيرة.

وعلى هذا المنوال يمكن أن تبدأ دقيقة واحدة، مشحونة كهربيًا، سيلًا جارفًا من الدقائق، وهذا ما يحدث في عداد جيجر. والجزء الرئيسي من العداد عبارة عن أنبوبة معدنية مملوءة بغاز ويخترقها سلك بطولها ويتوسطها، ويمرر تيار ذو ضغط عالٍ بين جدران الأنبوبة والسلك الموجود بداخلها، فبسبب هذا الضغط يكون داخل الأنبوبة قوى كهربية شديدة، فإذا دخلت الأنبوبة إحدى الدقائق المشحونة كهربيًا فإن تلك القوى الكهربية تدفعها وتجعلها تتحرك بسرعة فائقة، كما يحدث بالضبط في سقوط حجر متزلق على سطح منحدر بتأثير الجاذبية الأرضية.

وتصطدم الدقيقة أثناء حركتها السريعة بجزيئات الغاز الموجود، وتنتج عن ذلك دقائق جديدة مشحونة في كل مرة تطلق فيها تلك الدقيقة إلكترونات من أحد الجزيئات، وهكذا تلتقط القوى الكهربية الدقائق المشحونة حديثًا وتدفعها أيضًا، وتستمر الاصطدامات أكثر فأكثر وينتج عنها استمرار زيادة الدقائق المشحونة، فبهذه الكيفية تكون دقيقة واحدة مدفوعة بضغط كهربي سببًا في بداية سيل جارف من الدقائق، هذا السيل الجارف هو تيار كهربي على درجة من القوة تكفي لإحداث دقات في مكبر صوت أو تسجيل على جهاز للعد، وعندما تدخل الأنبوبة دقائق أكثر يسبب كل منها دفعة من التيار بالأنبوبة ويكون عدد دفعات التيار وسيلة لعد الدقائق.

فقاقيع وومضات نيرة:

حينما يسخن سائل ترتفع درجة حرارته حتى تصل إلى نقطة الغليان، وتتكون في السائل فقاقيع غازية ثم ترتفع إلى سطحه، على أنه إذا كان الإناء الموجود به السائل نظيفًا وأملس الجدران وكان السائل نقيًا جدًا فقد تزيد درجة حرارته على درجة غليان دون تكوين أية فقاقيع، وعندئذ يكون السائل فوق المسخن، وإذا دخلت دقيقة مشحونة سائلًا فوق مسخن فإنها تعمل بمثابة مركز تتكون حوله فقاعة، كما حدث بالضبط في الهواء فوق المشبع، إذا كانت الدقيقة مركزًا لنقطة ماء حولها، وعلى ذلك تعلن الدقائق الدخيلة في السائل عن وجودها بالفقاقيع التي تتكون حولها، والآلة التي تستخدم بهذه الكيفية السائل فوق المسخن ككشاف

للدقائق تسمى «خزانة الفقاقيع»، وفي آلة أخرى تعرف باسم «عداد الومضات» تنبئ الدقائق عن وجودها بإحداث وميض من الضوء، إذ تسقط الدقائق المشحونة على فصفر، وكل صدمة يتلقاها الفصفر تجعله يرسل وميضًا ضئيلًا من الضوء يظل هنيهة تقل عن جزء من مليون جزء من الثانية، وتلتقط أنبوبة المضاعف الضوئي وميض الضوء، وتستجيب لهذا الوميض بفيض من تيار كهربي، ويستطيع عداد الومضات أن يعد عدد مرات الوميض لغاية ١٠٠ مليون ومضة ضوء كل ثانية، فهو أسرع من عداد جيجر مائة مرة.

تشغيل الفرامل:

إذا شغل سائق سيارة مسرعة فراملها، فإن السيارة ستتوقف لإعاقتها عن السير وانزلاقها، وستترك أثرًا على الطريق، ويكون طول هذا الأثر دليلًا على مقدار طاقة حركة السيارة، حيث إنه كلما زادت طاقتها «المتسببة عن سرعتها وكتلتها»، زاد طول المسافة اللازمة لانزلاقها حتى تقف، ويمكن استخدام دليل مماثل لقياس طاقة دقيقة مسرعة، وبذلك يمكن الكشف عن ذاتية الدقيقة، فإذا سقطت الدقيقة على مستحلب فوتوغرافي فإنها تصطدم بالجزيئات الموجودة فيه وتطرد منه إلكترونات، وتعمل هذه الاصطدامات عمل الفرامل لإيقاف الدقيقة، فتترك الدقيقة أثناء ذلك أثرها في المستحلب الفوتوغرافي، إذ تفصل تلك الاصطدامات بعض الفضة من مركب الفضة الحساس الموجود في المستحلب، وبعملية الإظهار على اللوح الفوتوغرافي يمكن رؤية الأثر، ويكون طوله دليلًا

لقياس طاقة الدقيقة التي أحدثته، والمستحلبات الفوتوغرافية مفيدة بصفة خاصة لالتقاط الأشعة الكونية والتعرف عليها، وهي عبارة عن دقائق نووية تتساقط إلى جو الأرض من الفضاء الخارجي، والمستحلب المستعمل في أبحاث الأشعة الكونية يكون سمكه ١٠٠ ضعف سمك المستحلب المستخدم في الشريط الفوتوغرافي العادي، وهذا السمك الكبير لازم لضمان وقوف الأشعة الكونية السريعة الحركة في المستحلب بدلًا من مجرد نفاذها خلاله.

وأهم ما يلفت النظر من تلك الآثار ما يحدث منها عند تفجير الذرات، فذرة الراديوم المتفجرة، مثلًا، تنطلق منها خمس دقائق ألفا، كل منها هي نواة الهيليوم، وتترك كل دقيقة ألفا أثرها عند تركها مكان الانفجار، فيحدث الانفجار شكل نجمة ذات خمسة فروع في المستحلب، ويسميها الفيزيائيون نجمة ألفا، وإذا دخلت أشعة كونية مستحلبًا فوتوغرافيًا فإنها تُحدث أيضًا إصابة مباشرة لنواة في المستحلب فتهشمها ويكون الهشيم المتطاير من النواة نجمة كذلك.

وقد لعب المزيج الفوتوغرافي دورًا مهمًا في اكتشاف دقائق جديدة، وعلى سبيل المثال: تنبأ الفيزيائيون حديثًا من عملياتهم الحسابية بوجوب وجود مضاد البروتون، وهو دقيقة حجمها وكتلتها كالپروتون ولكنها مشحونة شحنة سالبة بدلًا من الموجبة، وقد تحققت صحة هذه النبوءة عندما كشف عن ذاتية مضاد البروتون ما رسمه من أثر في المستحلب الفوتوغرافي.

معامل طائرة:

بعد دخول الأشعة الكونية جو الأرض تخفض سرعتها اصطداماتها مع جزيئات الهواء، ولذا تكون أبطأ في حركتها وقتئذ حتى تصل سطح الأرض، بل قد توقف هذه الاصطدامات بعضها، وإذا أحدث اصطدام منها إصابة مباشرة لنواة فقد تتحطم النواة وتلحق الأجزاء المتطايرة منها بتيار الدقائق المنهمرة على الأرض، ولذا فإن الدقائق التي تصل سطح الأرض لا تعطي صورة صحيحة للأشعة الكونية، كما كانت عليه عند بدء دخولها جو الكرة الأرضية، وللحصول على تلك الصورة يكون من الضروري التقاط الأشعة الكونية في طبقة عالية من الهواء قبل أن يصادفها ويعترضها الكثير من جزيئات الهواء، ويتم ذلك بوساطة كشافات الدقائق التي يبعث بها العلماء إلى تلك الطبقة في صاروخ أو منطاد.

وقد صعدت الصواريخ عالية تحمل معها غرفًا سحابية، كما حملت المناطيد معها الألواح الفوتوغرافية إلى ارتفاع ٢٠ ميلًا فوق سطح الأرض، وعند رجوع المناطيد للأرض تسترد منه الألواح، وبعد عملية إظهارها تفحص تحت الميكروسكوب للبحث عن آثار الأشعة الكونية فيها، وأحسن مناظر للأشعة الكونية يمكن الحصول عليها في الأقمار التي تُطلق من الأرض وتحمل معها آلات القياس إلى مئات الأميال فوق سطح الأرض، وهي ترسل إلى الأرض مشاهداتها بالراديو.

نيوترونات كاشفة:

ليس للنيترون شحنة كهربية، ولذا فإنه لا يمكن كشفه أو مراقبته بنفس الطريقة التي تتبع مع الدقائق المشحونة كهربيًا، ولكون النيترون غير مشحون كهربيًا نجده، مثلًا، لا يحدث خيطًا قاتمًا في الغرفة السحابية أو أثرًا أسود في المستحلب الفوتوغرافي، على أنه يمكنه أن يجعل بلورات الفصفر تبعث بومضات ضوئية، ولذلك يستطيع عداد الومضات التعرف عليه.

وحينما تنفجر ذرة يورانيوم في مفاعل نووي فإنها تطلق بعض النيوترونات، وبذا يكون المفاعل عند تشغيله منبعًا للنيوترونات، وتنساب النيوترونات خلال ثقوب في المفاعل بعدة سرعات مختلفة، وقد تصل طاقة نيوترون بطيء الحركة إلى درجة من الانخفاض قدرها جزء من عشرة آلاف جزء من إلكترون – فولت، أما أسرع النيوترونات فيصل مدى ما به من الطاقة إلى عشرة ملايين إلكترون – فولت، ولقياس هذه الطاقات وعدد النيترونات في كل مستوى من الطاقة يستخدم الفيزيائيون عداد الومضات مصحوبًا بآلة خاصة تعرف باسم «المشطر السريع»، وهو عبارة عن قرص معدني به حزوز محفورة فيه، ويدار القرص في مسار حزمة من النيوترونات بحيث يسمح فقط بمرور النيترونات عندما يكون أحد الحروز في طريق الحزمة، ونتيجة لذلك تشطر الحزمة إلى ومضات، وعندما يدور المشطر بأقصى سرعة له فإنه يسمح بمرور ألف ومضة كل ثانية، وتقطع الومضة مائة قدم بعد مرورها خلال المشطر وقبل وصولها إلى عداد الومضات، وتتناثر نيوترونات الومضة أثناء قطع هذه المسافة

وذلك لأن النيوترونات الأسرع تكون في المقدمة بينما تكون النيوترونات الأبطأ في المؤخرة، وبذا لا تصل النيوترونات جميعها إلى عداد الومضات في وقت واحد، وبهذه الحقيقة يكون من الميسور التمييز بين السريع من النيوترونات والبطيء منها، وبدلا من استخدام دائرة كهربية واحدة للعد يستخدم بالعداد مائة منها موصلة بعضها ببعض بخطافات حتى تستطيع أن تعمل واحدة بعد الأخرى مباشرة وفي تتابع سريع، فيعد العداد الأول ومضات الضوء الصادرة من النيوترونات التي تصل في المقدمة، وهي بالطبع أسرع النيوترونات، ويعد العداد الأخير الومضات الصادرة من أبطأ النيترونات، وبهذه الكيفية يكون من الميسور الحصول على حصر لعدد النيترونات في خدمة النيترون مفصلة حسب سرعاتها.

النيوترون كأداة:

إن النيترون موضوع مهم للدراسة لأنه لبنة في بناء الكون، ولكنه أداة أيضًا تستخدم لدراسة أشياء أخرى، وهو مفيد بصفة خاصة في دراسة داخل نويات الذرات، فهو لا يتنافر مع النواة، كما يحدث في حالة البروتون، وذلك لعدم وجود شحنة كهربية بالنيترون، ولذا يستطيع النيترون التسلل إلى النواة ودخولها، وينساب النيترون كموجة يتوقف طولها على السرعة، وبإيجاد طول الموجة التي يدخل بها النيترون نواة بأيسر ما يمكن، يحصل بذلك عالم الطبيعة النووية على مفاتيح ترتيب الدقائق داخل النواة.

والنيترون هو مغناطيس صغير أيضًا، إذ أنه حينما تمر حزمة نيترونات خلال بلورة فإن الحزمة تنثني بالكيفية التي تنثني بها حزمة لأشعة سينية.

ويتوقف مقدار الانثناء على كيفية تأثير مغناطيس النيترون الصغير في ذرات البلورة، فهو بذلك يعطينا مفاتيح للتكوين المغناطيسي للبلورة، وبالاستعانة بالنيترون أمكن رجال العلم اليوم أن يسبروا غور أسرار الطبيعة بطريقة أكثر عمقًا مما كان ميسورًا لهم قبل اكتشاف النيترون.

الباب التاسع
القياسات الأساسية على أسلوب جديد

إن ازدهار العلم قد فتح أمام عيوننا عالما أكثر اتساعًا، فنحن نفحص الآن عما في الفضاء إلى مسافات أبعد فأبعد من ذي قبل، وذلك لدراسة نجوم بعيدة عنا إلى درجة أن ضوءها يستغرق ملايين السنين ليصل إلينا،

ويزداد تعمقنا في الفحص عن الأشياء عند اختيارنا للجزيئات في مادة، والذرات في تلك الجزيئات، والدقائق الأصغر التي تتألف منها الذرات، في هذا العالم الشاسع بما فيه من الأشياء الكبيرة والبعيدة أو الأشياء الصغيرة وغير المرئية، لا يزال من الضروري عمل قياسات للكتلة والمسافة والزمن، ولكن لابد من عمل هذه القياسات بطريقة جديدة، فإننا لا نستطيع وزن ذرة بوضعها في كفة ميزان، ولا نستطيع قياس بعدنا عن نجم ما بوساطة شريط من الصلب، كما أننا لا نستطيع قياس فترات زمنية تبلغ من الصغر جزءًا من مليون من الثانية باستخدام ساعة ذات بندول بطيء الحركة، وإنما ثمة طرق لإجراء هذه القياسات، وذلك بالاستعانة ببعض أدوات العلم الحديثة.

إبعاد ذرة عن مسارها:

وفي إحدى الطرق التي تستخدم لقياس كتلة ذرة، نبدأ بتحريك الذرة، ثم

نعمل على إخراجها من مسارها وذلك بدفعة جانبية تجعلها تنحرف. ولكن كلما زاد ثقل الذرة قل مقدار انحرافها، وعلى ذلك يكون مدى انحرافها عاملًا لقياس كتلتها، وتسمى الآلة التي تقوم بهذا النوع من القياس «سبكترومتر الكتلة»، وهي تشتغل على ثلاث خطوات، في الخطوة الأولى تسلخ إلكترونات من الذرات المطلوب قياسها، ويجري ذلك بإدخال بعض الذرات في أنبوبة تفريغ، حيث يطلق عليها إلكترونات سريعة الحركة ينتج عن اصطداماتها بالذرات طرد إلكترونات منها، وتحويلها إلى أيونات تحمل شحنة كهربية، وفي الخطوة الثانية تستخدم الشحنة التي على الأيونات كمقبض تمسك به الأيونات لدفعها، فتمر الأيونات في فتحات بألواح يوجد بينها مجال كهربي، وتؤثر القوى الكهربية على شحنة الأيونات وتدفعها إلى الأمام وتزيد سرعتها تدريجيًا، وفي الخطوة الثالثة تمر الأيونات المتحركة بين قطبي مغناطيس، وهنا تؤثر القوى المغناطيسية فيما يحيط بالشحنة المتحركة من مغناطيسية فتدفع جانبًا الأيونات السريعة الحركة فتجعلها تنحرف عن مسارها، وأخيرًا يلتقط الأيونات لوح فوتوغرافي أو أي كشاف جسيمات آخر.

كيميائيات توأمية:

يتوقف السلوك الكيميائي لذرة على عدد البروتونات في نواتها، فمسلك الهيدروجين، مثلًا، هو نتيجة لاحتواء نواته على ثمانية بروتونات، على أنه قد تحتوي نواة على نيوترونات أيضًا، بالإضافة إلى البروتونات، فتزيد النيوترونات من كتلة الذرة، ولكنها لا تؤثر في ظواهرها الكيميائية.

ونتيجة لذلك قد توجد عدة ذرات مختلفة في كتلتها ولكنها مشتركة في سلوكها الكيميائي، فهي توائم كيميائية وتعرف باسم النظائر، والأكسجين العادي هو مخلوط من نظيرين، وتحتوي النواة في أحدهما على ٨ بروتونات و٨ نيوترونات أو ١٦ دقيقة في مجموعها، وتزن قدر وزن البروتون ١٦ مرة، ويرجع إليها باسم أكسجين -١٦، وفي نواة النظير الآخر ٨ بروتونات و١٠ نيوترونات أو ١٨ دقيقة جميعها، وتزن قدر وزن البروتون ١٨ مرة ويرجع إليها باسم أكسجين -١٨، ويوجد في الأكسجين العادى من أكسجين - ١٨ جزء واحد فقط في كل ٥٠٠ جزء، وكل ما بقي هو أكسجين-١٦.

ولإيجاد مقدار كل نظير في مخلوط من نظائر يكون من الضروري فصلها بعضها عن بعض، وهذا يخلق مشكلة خاصة، لأن نظائر العنصر الواحد لا يمكن فصلها بالطرق الكيميائية لكونها توائم كيميائية فلا نستطيع أن نفرق بينها بسلوكها الكيميائي، إلا أن كتلها مختلفة، فيمكن فصلها في سبكترومتر الكتلة، وذلك أن نغذي سبكترومتر الكتلة بمخلوط من النظائر يحول إلى أيونات ويدفع إلى الأمام ثم يدفع دفعة جانبية، فيكون انحراف النظائر الأثقل أقل من انحراف النظائر الأخف، وتتناثر حزمة الأيونات المتحركة، وتكون الذرات الأثقل في جانب والذرات الأخف في الجانب الآخر، ومتى فصلت الذرات أمكن عدها منفصلة وأخذ إحصاء للنظائر.

ويكون إحصاء النظائر في الغالب مفتاحًا لمعلومات أخرى، فتعداد النظائر المأخوذ بسبكترومتر الكتلة، مثلًا يساعدنا على إيجاد عمر الأرض ومعرفة مدى سخونة المحيط منذ ملايين السنين، ونجد مفتاحًا لعمر الأرض في كمية اليورانيوم والثوريوم والرصاص الموجود في الصخور، فاليورانيوم والثوريوم عنصران مشعان تنفجر بعض ذراقما تلقائيًا وتتحول إلى رصاص، وبمرور الزمن تنفجر منها كميات أكثر فأكثر، حتى أننا نجد الرصاص مختلطًا باليورانيوم والثوريوم بكميات آخذة في الازدياد تبعًا لذلك، ويتكون من يورانيوم – ٢٣٨ رصاص – ٢٠٦ ومن يورانيوم–٢٣٥ يتكون رصاص –٢٠٧، أما الثوريوم فيتكون منه رصاص – ٢٠٨.

ومعدل تكوين نظائر الرصاص هذه معروف، فإذا عرفنا مقدار كل من النظائر في مخلوط من مدة العناصر أمكننا حساب الزمن الذي استغرقته من الذرات المتفجرة لتكوين تلك النظائر، ومن أمثال هذه القياسات أمكن الاستدلال على أن عمر الأرض يبلغ خمسة بلايين من السنين على الأقل.

وأما مفتاح معرفة درجة حرارة البحار القديمة فإنا نجده في محارات الحيوانات المتحجرة، وتتكون المحارات من مركب يحتوي على أكسجين وعناصر أخرى امتصتها أسماك المحارات من الماء الذي عاشت فيه.

والأكسجين هو بالطبع مخلوط من أكسجين –١٨ وأكسجين – ١٦، ولقد وجد العلماء أن نسبة النظائر في المخلوط تتوقف على درجة سخونة الماء في وقت تكوين المحارة، فأمكنهم قياس درجة حرارة المحيط الذي عاشت فيه المحارة، وذلك بكشط عينة من محارة حفرية وفحصها بوساطة سبكترومتر الكتلة.

نـجوم وامضة:

إن أهم مفتاح لقياس بعد نجم هو مقدار شدة الضوء الذي يصلنا منه، فكلما كان النجم أبعد ضعف ما يصلنا من ضوئه، ومع ذلك يجب نعلم أولًا، لاستخدام هذا المفتاح، مقدار الضوء عند بدء صدوره من النجم، فحينما يظهر نجم أضعف ضوءًا من نجم آخر فإن ذلك قد يرجع سببه إلى كونه أبعد من النجم الآخر أو كونه يرسل في الواقع ضوءًا أقل مما يرسله النجم الأكثر لمعانًا، وقد جرب الفلكيون طرقًا كثيرة للكشف عن اللمعان الحقيقي لنجم ما، وتعتمد إحدى هذه الطرق على حقيقة كون بعض النجوم يتغير لمعانها باستمرار بحيث تومض بإيقاع ثابت، ويوجد الكثير من هذه النجوم الوامضة على مقربة من المجرات المعروفة باسم سحب مجلان، وقد قام الفلكيون بدراسة هذه النجوم الوامضة في تلك الأفلاك فوجدوا أن إيقاعها يتوقف على مقدار لمعانها الحقيقيي، ولذا فإنهم يقيسون اليوم إيقاع الضوء المتغير لنجم كلما شاهدوه يومض، ومن هذا الإيقاع يوجدون مقادير لمعانه الحقيقي، وبمقارنة مقدار لمعانه الحقيقى

بمقدار ما يظهر لهم من ضوء باهت يستطيعون حساب بعد النجم.

ساعة ذرية:

إننا نقيس زمنًا بالموازنة بينه وبين فترة من الزمن بإيقاع شيء ما يتكرر حدوثه بانتظام، فللمدد الطويلة مثلًا نحسب عدد السنين باستخدام إيقاع تغير الفصول، وللمدد الأقصر نحسب عدد الأيام باستخدام إيقاع دوران الأرض حول محورها، ولمدد أخرى أقصر من ذلك نحسب عدد الدقائق أو الثواني من إيقاع الأجزاء المتحركة في ساعة، أما قياس فترات أقصر مما تقدم فيستلزم أن يكون لدينا إيقاع أسرع كثيرًا لنقارن بينه وبين تلك الفترات، ويوجد مثل هذا الإيقاع السريع في الدوائر الكهربية وفي الجزيئات والذرات.

وثمة نوع من الساعات الحديثة يجمع بين إيقاع الدوائر الكهربية وإيقاع الجزيئات المتذبذبة، في بلورات الكوارتز تكون جزيئاته مرتبة في نمط منتظم، فإذا دفعت الجزيئات بمجال كهربي فإنها تبدأ اهتزازها بإيقاع منتظم، وإذا وضعت بلورة الكوارتز كجزء من دائرة كهربية يمر بها تيار جيئة وذهابًا، فإن إيقاع البلورة يمكن استخدامه لتنظيم إيقاع التيار،ويصبح مثل هذا التيار المتبدل والمتنظم الإيقاع ساعة غاية في الدقة، وقد زاد من دقة هذه الساعة حديثًا إضافة منظم آخر مكون من جزيئات نشادر متذبذبة، إن جزيء النشادر يتألف من ثلاث ذرات من الهيدروجين متحدة مع ذرة واحدة من النيتروجين، وتكون ذرات

الهيدروجين متحدة مع ذرة واحدة من النيتروجين، وتكون ذرات الهيدروجين الثلاثة شكل مثلث وتقع ذرة النيتروجين في إحدى جهتي المثلث، وبذا تكون الذرات الأربعة معًا شكل هرم، ومع ذلك فإن ذرة النيتروجين تتذبذب من أحد جانبي المثلث إلى الجانب الآخر إذا دُفعت بتأثير كهربي، وتستمر في تذبذها إيابًا وذهابًا بإيقاع منتظم، وهي تهتز ٢٣٨٧٠ مليون ذبذبة في كل ثانية. ويستخدم هذا الإيقاع السريع لتنظيم حركة الساعة بالكيفية الآتية: أولًا يجعل تيار كهربي يتذبذب، وينظم ذاك بوضع بلورة كوارتز في الدائرة، تنسق الدائرة الكهربية بحيث يكون الإيقاع قريبًا جدًا من إقاع جزيء النشادر، ثم يصحح الإيقاع بمطاقته بالإيقاع الفعلى لجزئيات النشادر المتذبذبة، فيحدث التيار المتردد، وجات راديو، وترسل هذه الموجات إلى خزانة تحتوي على غاز النشادر، فإذا طابق إيقاع الموجات الإيقاع الطبيعي لجزيئات النشادر أخذت الجزيئات في التذبذب حاملة معها موجات الراديو أثناء ذلك، ونتيجة لذلك لا تصل أبدًا بالموجات إلى الجانب الآخر من الخزانة، أما إذا كانت الموجات ذات إيقاع خاطئ فإن الجزيئات لا تحملها معها بل تمر رأسًا وتصل للجانب الآخر، وهنا تدفع الموجات دائرة كهربية إلى العمل، تغير بها إيقاع التيار المتردد، وذلك لتصحيح الخطأ، وتكون الساعة الموجهة بجزيئات النشادر مضبوطة إلى جزءين من بليون، ومن الممكن استخدام مثل هذه الساعة الدقيقة حتى لقياس التغيرات التي تحدث في الإيقاع التوقيتي لدوران الأرض.

فهرس هجائي

«أ»

- إديسون، توماس ٩٧
- أسلسكوب .... ١٠٧، ١١٥
- أشعة المهبط .... ٩٦، ١٠٩
- أشعة كونية .... ١٢٢، ١٢٤
- أشعة X «رنتجن»..... ٧٢، ٩٠، ٩١، ٩٦
- إصبع ٨١و ٩٩
- أكسجين .... ١٦، ١٧، ٥٦، ٧٧
- آلة تسطير ٨٧
- آلة تصوير فوتوغرافي .... ٦، ٦٥، ١٠٩
- آلة كهروستاتيكية ٥٤
- ألتيمتر «مقياس الارتفاع» ٢٧
- ألفا، دقائق ١٢٣
- نجمة ١٢٣٣
- إلكترون ٥١-٥٦، ٦٠-٦٣، ٩٧-١٠١
- إلكتروني: عقل ١٠٤
- ميكروسكوب .... ١٠٩، ١١٠
- أنبوبة صور ١٠٥
- تقريغ المكثف ٩٩

- أنبيق «جهاز تقطير» ٣٥
- أنيمومتر «مقياس سرعة الريح» ٣٢
- أورستد ٥٨
- إيدروجين هيدروجين ٥٦
- إيقاع .... ٢١،١٢٥،١٢٦
- أيونات ١١٧

«ب»

- بودة .... ٤٧، ٤٨
- بارومتر زئبقي ٤٧
- باسكال ٤٣
- بروتوزوا «وحيدة الخلية» ٨٠
- بروتون .... ٥١، ٥٢، ١١٠، ١١٧
- مضاد ١٢٣
- بروتين ٦٩
- بريستلى ٧٧
- بطارية ٥٥
- بندول ٢٣– ٣٢
- أفقي ٩٣
- جاذبية ٢٦–٢٩
- فوكلت ٢٦

- قذائف ٣٢
- بويل ٤٤
- بيفاترون ٩

«ت»

- تحليل كهربي ٥٦
- تداخل موجات الضوء ٨٤
- ترمومتر ٣٩
- تسوت ٦٧
- تلسكوب .... ٥، ٨١
- تلسكوب راديو ....١٠٢، ١٠٣
- تلسكوب عاكس ٨٢
- تلسكوب كلسر ٨١
- تلسكوب مونت بالمر .... ٨٣، ١٠٩
- تلسكوب يركس ٨٢
- توريشلي ٤٢

«ث»

- ثلاجة كهربائية ٤٨
- ثلج، صندوق ٤٧

«ج»

■ جاذبية أرضية

«أ»

■ إديسون، توماس ٩٧

■ أسلسكوب .... ١٠٧، ١١٥

■ أشعة المهبط .... ٩٦، ١٠٩

■ أشعة كونية .... ١٢٢، ١٢٤

■ أشعة X «رنتجن»........ ٧٢، ٩٠، ٩١، ٩٦

■ إصبع ٨١و ٩٩

■ أكسجين .... ١٦، ١٧، ٥٦، ٧٧

■ آلة تسطير ٨٧

■ آلة تصوير فوتوغرافي .... ٦، ٦٥، ١٠٩

■ آلة كهروستاتيكية ٥٤

■ ألتيمتر «مقياس الارتفاع» ٢٧

■ ألفا، دقائق ١٢٣

■ نجمة ١٢٣٣

■ إلكترون ... ٥١-٥٦، ٦٠-٦٣، ٩٧-١٠١

■ إلكتروني: عقل ١٠٤

■ ميكروسكوب .... ١٠٩، ١١٠

■ أنبوبة صور ١٠٥

- تقريغ المكثف ٩٩
- أنبيق «جهاز تقطير» ٣٥
- أنيمومتر «مقياس سرعة الريح» ٣٢
- أورستد ٥٨
- إيدروجين هيدروجين ٥٦
- إيقاع .... ٢١،١٢٥،١٢٦
- أيونات ١١٧

«ب»

- بودة .... ٤٧، ٤٨
- بارومتر زئبقي ٤٧
- باسكال ٤٣
- بروتوزوا «وحيدة الخلية» ٨٠
- بروتون .... ٥١، ٥٢، ١١٠، ١١٧
- مضاد ١٢٣
- بروتين ٦٩
- بريستلي ٧٧
- بطارية ٥٥
- بندول ٢٣– ٣٢
- أفقي ٩٣
- جاذبية ٢٦–٢٩
- فوكلت ٢٦

- قذائف ٣٢
- بويل ٤٤
- بيفاترون ٩

«ت»

- تحليل كهربي ٥٦
- تداخل موجات الضوء ٨٤
- ترمومتر ٣٩
- تسوت ٦٧
- تلسكوب .... ٥، ٨١
- تلسكوب راديو ....١٠٢، ١٠٣
- تلسكوب عاكس ٨٢
- تلسكوب كلسر ٨١
- تلسكوب مونت بالمر .... ٨٣، ١٠٩
- تلسكوب يركس ٨٢
- توريشلي ٤٢

«ث»

- ثلاجة كهربائية ٤٨
- ثلج، صندوق ٤٧

«ج»

- جاذبية أرضية ٢٣
- جانسكي ١٠١
- جبل، جذر .... ٢٩، ٣٠
- جبهة الموجة ٧٤
- جزيء ٤٨
- جسيمات .... ٦٦، ٧١، ٧٢
- معجل ١١٠
- كشاف ١١٧
- جلبرت، وليم ٥٣
- جهاز على ٥
- جو، ضغط جوي .... ٤٣، ٤٤
- جيجر، عداد .... ٦، ١١٩، ١٢١
- جيدي، مضخة تفريغ ٤٥

«ح»

- حامض ٥٠
- حامض أميني ٦٩
- حرارة ٣٤
- درجة ٣٨
- كمية ٣٨

- مستوى ٣٨
- حمام ماري ٣٧
- حمام مائي ٣٥
- حيود، محزوز .... ١٠، ٨٤–٨٧

«خ»

- خزانة الفقاقيع ١٢١
- خل ٥١
- خلية كهروضوئية .... ٥٩، ١٠٧، ١٠٩

«د»

- دقائق، آثار ١٢٢
- دقائق ألفا ١٢٣
- دم، دورة ٨٠
- دي فوست ٩٨

«ذ»

- ذراع ١٩
- ذرة .... ١١،٤٩،٥٠
- محطم .... ٧١، ١٠٩، ١١٠

«ر»

- راحة اليد ١٩
- راديو، صمام ٩٨
- فلك ١٠٣
- مستقبل ١٠٣
- رنتجين ، أشعة ٩٦
- ريح، سرعة ٣١

«ز»

- زلزال ، موجات ....٩١، ٩٣
- زمن، قياس ٩٢

«س»

- ساعة ذرية ١٣٣
- ساعة شمسية ٢٢
- ساعة مائية ٢٢
- سائل: فوق المسخن ١٢١
- سبكترومتر ٨٦
- الكتلة ١٣٠
- سرعة رصاصة «قذيفة»
- سرعة ريح ٣١

- سرعة ضوء ٧٥
- سعر ٤٠
- سكروترون ١١و ١١٣
- سيكلوترون.............. ٥،١١ و١١٣،١١٢
- سيمسوجراف .... ١١، ٩٣،٩٢

«ش»

- شبر ١٩
- شبكة ٩٨
- شبيكة ٦٤
- شريط فوتوغرافي ٧
- شريط قياس ٩
- شعاع ضوئي ٧٥
- شعاع مهبط ٩٦
- شعيرات ٨٠
- شفرة سكين ١٥
- شيئية ٧٩

«ص»

- صمام راديو ٩٨
- صوت ٤٥

- صوديوم ، ذرة ٦٣

«ض»

- ضوء ٦٣
- انكسار ٨١
- شعاع ٧٥
- عداد ضوئي ١٠٧
- مضاعف ١٠٧
- موجات .... ٧٣، ٧٤

«ط»

- طاقة ٣٤
- طحالب ٧٢
- طيف ٨٣

«ظ»

- ظل ....

«ع»

- عداد جيجر .... ٦، ١١٩، ١٢١
- عجلة الانفلات ٢٤

- عد .... ٥، ٢٣
- محدبة ٧٧
- محرقة ٧٧
- مكبرة ٧٨
- عقول إلكترونية ١٠٤
- علم الأجنة ٧٨
- عنصر .... ٣٣، ٣٥،٥٠
- عين ٦٤
- صناعية ٦٥
- كهربية ١٠٧
- عينية ٧٩

«غ»

- غاز .... ٣٤، ٤١
- غاليليو «جاليليو» .... ٣٩،٨١
- غرفة سحابية .... ٦ ، ٧، ١١٧
- غلاف «الأرض» ٩٣
- غلاية مزدوجة: مزدوج «مرجل» ...... ٦، ٣٧

«ف»

- فرادأي بشيل ٦٠

- فراغ ٤١
- فرن ٣٨
- فرن شمس ٨٣
- فرن فصفر .... ١٠٦، ١٢٤
- فرن قوس الكربون ٦٢
- فلك الراديو ١٠٣
- فلمنج ٩٨
- فهرنهيت ٣٩
- فوتوغرافي، شريط ٧٢
- – محلول إظهار ٦٦
- فوتوغرافي مستحلب ١٢
- فوتون .... ٦٥، ١٠٧و ١٠٩
- فيفانى ٤٣
- جيريك .... ٤١، ٤٣
- فوق المسخن ١٢١

«ق»

- قاعدة ٥٠
- قصبة مجمعة «كليماتر» ٨٦
- قطب مغناطيسي ٥٧
- قوى كهربية ٥٧

- قوى كهربية .... ٥١، ١٠٠
- قوى مغناطيسية ٥٧
- قياس الأطوال ١٨

«ك»

- كاشف ٥٠
- كاشفة الجسيمات «كشافات» ٦٦
- كاميرا «انظر آلة تصوير فوتوغرافي» ٦
- كتابة الألوان «كروما توغرافيا» ٧١
- كتلة ١٣
- سبكترومتر ١٣٠
- كثافة ضوئية ٧٥
- كروكس – أنبوبة .... ٩٦، ١٠٥
- كروماتوغرافيا الورق ....٦، ٦٧، ٦٩–٧١
- كوزموترون ١١٤
- كشاف جسيمات .... ٦٦، ٧١، ٧٢، ١١٧
- كليماتر «انظر قصبة مجمعة» ٨٦
- تيار كهربي .... ٥٥، ٦٢، ٩٩–١٠١
- عين ١٠٧
- مجال ٥١
- كوارتز، بلورة ١٣٤

- كوبرنيكس ٨١
- كؤوس ٥

«ل»

- لابلاس ٤٠
- لافوازييه ٤٠
- لانجموير – مفرغة هواء ٤٧
- لب «الأرض» ٩٣
- ليبرشي ٨١
- ليفوهوك ٧٩

«م»

- ماء القلى ٥٠
- مائي، حمام ٣٥
- مادة، حالات ٣٣
- متر ١٩
- محزوز الحيود .... ١٠، ٨٤، ٨٧
- محطم الذرة .... ٧١، ١٠٩، ١١٠
- محلول إظهار ٦٦
- محلول تثبيت ٦٦
- مدية ١٠

- مرجل مزدوج .... ٦،٣٧
- مرشح ٣٥
- مركب .... ٤٩، ٥٠، ٦٧- ٧١
- مضاد بروتون ١٢٣
- مضخة هواء ٤١
- جيدى ٤٥
- لانجموير ٤٧
- مطرقة ١٠
- معجلات الجسيمات ١١٢
- معجل طولى .... ١١١، ١١٢
- معمل بروكهافن .... ١١٤، ١١٥، ١٢٢، ١٢٥
- معوجة ٥
- مغنطيس ٥٦
- كهربى ٥٨
- قوة مغناطيسية ٥٧
- مجال مغناطيسى ٥٧
- مفتاح «توصيل التيار» ٩٩
- مقتفيات الأثر ٧١
- مقوم ٩٩
- مقياس الارتفاع «ألتيمتر»...................... ٢٧
- مقياس تداخل نجمي ٨٨

- تذبذب أشعة المهبط .... ١٠٧، ١١٥
- مكبر ٩٩
- مكثف .... ٥٤، ٩٩،٦١، ١٠٠
- منشور ١٠
- منفاخ ٣٨
- مهبط .... ٩٦، ١٠٧، ١٠٩
- أشعة .... ٩٦، ١٠٩
- موجات الراديو ١٠١
- موجة، جبهة ٧٤
- طول .... ٧٤، ٨٥
- موصل كهربي ٥٤
- موقد ٣٨
- مولد ٦٠
- ميزان .... ١٤، ١٥
- ميكروسكوب .... ٥ ، ٧
- إلكتروني ١٠٩
- بسيط ٧٨
- مركب ٧٩
- ميكروفون ٧
- ميكرومتر ٢٠

- مئوية، درجة ٣٩

«ن»

- نار ٣٨
- نجم وامض ١٣٣
- عرض ٨٨
- لمعان ٨٩
- مقياس تداخل نجمي ٨٦
- نظائر ١٣١
- نوايات مشعة ٧١
- نيوترون .... ٥، ١٢٢، ١٢٥، ١٢٦

«هـ»

- هارفي ٧٨-٨٠
- هاون ومدوك ١٠
- هواء سائل ٤٨
- هواء فوق مشبع ١١٨
- هواء مشبع ١١٨
- هوكسبي ٤٥
- هيدروجين ٥٢

«و»

- **وزن ١٤**
- **ولسن، غرفة السحابية ١١٧**
- **ومضات عداد ١٢١**

«ى»

- **يورانيوم ٥٢**

محتويات الكتاب

- مقدمة 5
- الباب الأول: تدخل في الكون 9
- الباب الثاني : القياسات الأساسية، على أسلوب قديم 17
- الباب الثالث: ذو المهارة في كل الحرف 23
- الباب الرابع: أحوال المادة الأربعة 33
- الباب الخامس: جسيمات داخل جسيمات 49
- الباب السادس: الكون الرجراج 73
- الباب السابع: حيز فارغ تقريبًا 91
- الباب الثامن: كشافات الجسيمات 107
- الباب التاسع: القياسات الأساسية، على أسلوب جديد .. 117
- فهرس هجائي 125

أدوات التعلم

هذا الكتاب :

يحتاج الإنسان إلى مجموعة من الأدوات لتحويل ما ينتج عن فكره من مفاهيم وأفكار، حتى تتحول هذه الأشياء إلى قُرى ومُدن وحضارات كاملة نتجت عن تفكير الإنسان البسيط الذي كان نتيجة سعيه الدائم للعلم والمعرفة .

إن منهج العلم الحقيقي هو الطريق السليم للبحث والمعرفة ، واستخدام أدوات العلم الصحيحة في تقصي الحقائق العلمية المختلفة حتى نصل للحقيقة العلمية التي نبني عليها قانونا علميا ثابت نقيس من خلاله الفرق بين عدد من الظواهر العلمية الأخرى ، أو أن نُثبت حقيقة مرض ما نقي به عدد كبير من البشر، لذا وجب استخدام أدوات سليمة للوصول إلى حلول وقوانين وتفسيرات سليمة.